

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

В. С. ЧЕРНЕЦЬ

*НАДІЙНІСТЬ І
ДІАГНОСТИКА
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ
ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ*

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів 5 курсу денної і заочної форм навчання
освітньо-кваліфікаційних рівнів спеціаліст, магістр
спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»)*

ХАРКІВ
ХНАМГ
2011

Конспект лекцій з дисципліни «Надійність і діагностика електрообладнання освітлювальних систем» (для студентів 5 курсу денної і заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційних рівнів спеціаліст, магістр спеціальності «Світлотехніка і джерела світла») / В. С. Чернець; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 69 с.

Конспект лекцій містить основні відомості з методів та заходів підвищення надійності та діагностики електротехнічного обладнання систем освітлення, розглянуті основні теореми імовірності, на яких базується сучасна теорія надійності, наведені математичні закони розрахунку надійності електротехнічного обладнання систем освітлення та наведені основи їх діагностики на усіх етапах життєвого циклу обладнання.

Призначений для студентів 5 курсу денної і заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційних рівнів спеціаліст, магістр спеціальності «Світлотехніка і джерела світла».

Автор: к.т.н., ст. викл. В. С. Чернець

Рецензент: д.т.н., проф. Л. А. Назаренко

Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла,
протокол № 6 від 02.04.2010 р.

З М І С Т

ВСТУП	4
ТЕМА 1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ.....	5
<i>Лекція 1.</i> Основи теорії надійності.....	5
<i>Лекція 2.</i> Теоретичні основи розрахунку надійності електрообладнання освітлювальних систем.....	13
ТЕМА 2. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ІМОВІРНОСТІ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ.....	21
<i>Лекція 3.</i> Основні поняття і короткі відомості з теорії імовірностей	21
<i>Лекція 4.</i> Математичні моделі теорії надійності. Статистична обробка результатів випробувань	29
<i>Лекція 5.</i> Прогнозування показників надійності.....	36
ТЕМА 3. ОСНОВНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ	42
<i>Лекція 6.</i> Стратегії підвищення надійності функціонування електротехнічного обладнання	42
<i>Лекція 7.</i> Надійність відновлюваних об'єктів. Надійність об'єктів при поступовій відмові	50
ТЕМА 4. СУЧАСНІ МЕТОДИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ	58
<i>Лекція 8.</i> Класифікація методів діагностики електротехнічного обладнання освітлювальних систем. Діагностичні параметри	58
<i>Лекція 9.</i> Стратегії й системи контролю електротехнічного обладнання систем освітлення.....	64
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	69

ВСТУП

Характерною рисою сучасного розвитку світлотехніки є широке впровадження методів і засобів автоматики і телемеханіки, викликане переходом на автоматизоване і автоматичне керування різними виробничими та технологічними процесами, створенням гнучких виробничих модулів, систем, комплексів керування освітленням, що являє собою першу причину зростання фактору надійності в сучасних умовах розвитку світлотехніки і, зокрема, проектуванні електротехнічного обладнання систем освітлення різного призначення.

Другою причиною, що вимагає підвищення надійності, є зростання складності даних систем, апаратури їх обслуговування, жорсткості умов їх експлуатації і відповідальності задач, які на них покладають.

Недостатня надійність електротехнічного обладнання систем освітлення приводить до збільшення частки експлуатаційних витрат у порівнянні із загальними витратами на проектування, виробництво і застосування цих систем. При цьому вартість експлуатації електротехнічного обладнання систем освітлення може в багато разів перевершити вартість їх розробки і виготовлення. Крім того, відмови такого обладнання приводять різного роду наслідкам: втратам інформації, простоям сполучених з електротехнічним обладнанням систем освітлення інших пристроїв і систем, до аварій і т.і. Таким чином, третьою причиною підвищення ролі надійності в сучасних умовах розвитку світлотехніки є економічний фактор.

В остаточному підсумку, надійність електротехнічного обладнання систем освітлення визначається надійністю комплектуючих елементів. Тому знання основних питань надійності елементної бази є у наш час необхідною умовою успішної роботи в області проектування, виробництва, експлуатації, контролю та керування системами освітлення.

ТЕМА 1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ

ЛЕКЦІЯ 1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ

Середина 20-го сторіччя ознаменувалася якісним стрибком у теорії надійності – широким поширенням великих і малих автоматизованих систем керування. Однак нова техніка, що виконує відповідальні функції, має право на існування лише тоді, коли вона надійна.

З розвитком техніки ускладнюється й проблема її надійності, для рішення якої було розроблено новий науковий напрямок - теорію надійності. Предметом її досліджень є вивчення причин, що викликають відмови об'єктів, визначення закономірностей, яким відмови підкоряються, розробка засобів кількісного виміру надійності, методів розрахунку та випробувань, розробка шляхів і засобів підвищення надійності.

Теорія імовірностей, математична статистика, теорія імовірнісних процесів дають можливість врахувати випадковий характер виникаючих у системі подій і процесів.

Теорія графів, дослідження операцій, теорія інформації, технічна діагностика, теорія моделювання, основи проектування систем і технологічних процесів дозволяють обґрунтовано вирішувати завдання надійності.

Основні напрямки розвитку теорії надійності проявляються на таких рівнях:

1. Розвиток математичних основ теорії надійності. Узагальнення статистичних матеріалів про відмови й розробка рекомендацій з підвищення надійності об'єктів дозволили визначати математичні закономірності, яким що описують відмови, а також розробляти методи кількісного виміру надійності та інженерних розрахунків її показників. Так сформувалась математична теорія надійності.

2. Розвиток методів збору і обробки статистичних даних про надійність. Обробка статистичних матеріалів в області надійності потребувала розвитку існуючих методів і призвела до нагромадження великої статистичної інформації про надійність досліджуваних об'єктів. Так з'явилися статистичні характеристики надійності закономірності відмов, що полягло в основу формування статистичної теорії надійності.

3. Фізична теорія надійності. Наука про надійність не може розвиватися без досліджень фізико-хімічних процесів, тому велика увага приділяється фізичній природі відмов, впливу старіння й міцності матеріалів на надійність, різноманітних зовнішніх і внутрішніх впливів на працездатність об'єктів. Сукупність досліджень фізико-хімічних процесів, що впливають на надійність об'єктів, полягли в основу фізичної теорії надійності.

1.1 Проблеми надійності виробів

Причини виникнення проблеми надійності обладнання полягає у

- різкому ускладненні виробів, електронної апаратури, збільшення кількості елементів сучасного електротехнічного обладнання. Чим складніша і точніша апаратура, тим менш вона надійна;
- зріст складності системи перевищує зріст надійності елементів у цій системі;

- «відповідальність» функції виробу (елемента системи), при відмові якого простій або поломка всієї системи економічно недоцільна;
- складність умов, у яких здійснюється експлуатація виробу/системи.

1.2. Основи теорії надійності систем освітлення

Проблема надійності електротехнічного обладнання систем освітлення відноситься до завдань визначення і оптимізації їх показників на етапах планування, проектування, побудови та експлуатації. Надійність - властивість об'єкту або технічного пристрою виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, які відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування.

Об'єкт - предмет цільового призначення, що підлягає аналізу у період проектування, виробництва, експлуатації, вивчення, дослідження і випробування на надійність (об'єктами можуть бути системи і їхні елементи, зокрема установки, технічні вироби, пристрої, машини, апарати, прилади і їх частини, агрегати й окремі деталі).

В техніці надійність має точне значення. Вона може бути визначена, розрахована, оцінена, обмірена, випробувана, розподілена між окремими частинами системи, об'єкту або апаратури.

Перші систематичні спроби вивчення надійності і створення її теорії пов'язані з технічним прогресом в 40-50 роках ХХ ст., коли недостатня надійність стала перешкодою на шляху реалізації нових ідей в авіації, кораблебудуванні, ракетобудуванні, радіотехніки, ядерної й космічної промисловості.

Перші вагомі роботи в галузі надійності електротехнічного обладнання систем освітлення були присвячені розрахункам резерву. Теорія надійності стосовно до світлотехніки має ряд особливостей і опирається на спецдисципліни («Електричні системи і мережі», «Перехідні процеси в енергосистемах», «Електричні машини», «Релейний захист і автоматика»).

Наука про надійність займається аналізом загальних закономірностей, що визначають довговічність роботи різних пристроїв і систем, розробкою способів попередження відмов на стадіях проектування, побудови, експлуатації, кількісно оцінює імовірність того, що характеристики об'єкту належатимуть межах технічних норм протягом заданого періоду часу. Математичний апарат теорії надійності заснований на застосуванні таких розділів сучасної математики як теорія випадкових процесів, теорія масового обслуговування, математична логіка, теорія графів, теорія розпізнавання образів, теорія експертних оцінок, а також теорія ймовірностей, математична статистика й теорія множин.

Проблема надійності в техніці викликала появу нових наукових напрямків: теорію надійності, фізику відмов, технічну діагностику, статистичну теорію міцності, інженерну психологію, дослідження операцій, планування експерименту і т.і.

У практичній діяльності інженерів-світлотехників доводиться приймати різні рішення. Наприклад, вибирати проектний варіант освітлювальної установки або її частини, робити реконструкцію її мереж і приладів, призначати

режими експлуатації. У світлотехніці на вибір рішення впливає велика кількість факторів. Одні з них можна чисельно проаналізувати і скоротити область варіантів рішення. Інші не мають теоретичної ясності для кількісного опису. З'являється невизначеність, переборювати яку допомагають знання, досвід, інтуїція та якісний аналіз. При таких умовах з'являється ризик вибору неоптимальних і неякісних рішень. Тому надійність має особливе місце серед інших факторів, яка має бути проаналізованою для кожної системи окремо. Наслідки від ненадійності систем освітлення такі серйозні, що потрібне постійне вдосконалювання методів проектування, будови, експлуатації систем, що дозволяють повніше враховувати їх надійність.

Зв'язок між системою освітлення, її елементами і зовнішнім середовищем носить стохастичний (імовірнісний) характер і можна говорити лише про імовірність повного досягнення системи своєї мети – забезпечувати необхідний рівень освітленості простору. Тому надійність роботи освітлювальних установок (ОУ) і систем освітлення в цілому завжди включає відмову (порушення).

Неповнота надійності ОУ дає втрати вихідного ефекту її роботи, на практиці – неякісне освітлення.

Теорія надійності електротехнічного обладнання систем освітлення ґрунтується на ймовірносно-статистичній природі їх поведінки. Останнім часом зі збільшенням системних аварій, розробляються методи оцінки імовірності шляхом їх каскадного розвитку, обумовленого відмовами автоматики і комутаційної апаратури, виникнення неприпустимих режимів роботи елементів. Внаслідок того, що відмова елементу при великій зоні дії на інші елементи викликає необхідність роботи автоматичних комутаційних апаратів, які теж можуть відмовити, виникає необхідність складання розрахункових схем надійності.

Для застосування при аналізі надійності вагової теорії імовірності система освітлення повинна бути надлишковою (надмірність – додаткові засоби та можливості для виконання системою заданих функцій). Надмірність системи виступає в наступних формах.

1. Резервування (підвищення надійності дублюванням елементів і функцій, надання додаткового часу для виконання завдання, використання надмірної інформації при керуванні);

2. Удосконалення конструкцій і матеріалів, з яких виконані елементи системи, підвищення їх запасів міцності, довговічності, стійкості несприятливим явищам зовнішнього та внутрішнього середовища;

3. Удосконалення технічного обслуговування, оптимізація періодичності і глибини капітальних і профілактичних ремонтів, зниження тривалості аварійних ремонтів;

4. Удосконалювання систем контролю і керування процесами в електротехнічному обладнанні.

Проблема надійності керування електротехнічним обладнанням систем освітлення (як і інших технічних систем) за останні 2-3 десятиріччя різко загострилась. Це зумовлено наступними причинами:

1. Різким збільшенням складності систем, що включають складні елементи і вузли;
2. Екстремальністю умов експлуатації багатьох елементів систем освітлення;
3. Підвищення вимог до якості роботи (ефективність, високі вимоги до вихідних параметрів);
4. Збільшення відповідальності функцій виконуваних системою, високою економічною й технічною ціною відмови;
5. Повною або частковою автоматизацією, широким використанням комп'ютерів для керування роботою системи, і як наслідок, виключенням або зменшенням безпосереднього контролю людиною роботи системи і її окремих елементів.

1.3. Основні поняття і визначення теорії надійності

Теорія надійності опирається на сукупність різних понять, визначень, термінів і показників, які строго регламентуються в державних стандартах (ДСТУ). Всі терміни й визначення даються стосовно до технічних об'єктів цільового призначення, розглянутим у періоди проектування, виробництва, експлуатації й випробуванні на надійність.

Уведемо деякі терміни й поняття, використовувані в теорії надійності.

Система – це технічний об'єкт, призначений для виконання певних функцій.

Окремі частини системи (конструктивно відособлені, як правило) називаються елементами.

Однак необхідно помітити, що той самий об'єкт залежно від того завдання, що хоче вирішити конструктор (дослідник, проектувальник, розроблювач), може розглядатися як система або як елемент. Наприклад, радіостанція звичайно розглядається як система. Однак вона може стати елементом більшого об'єкта - радіорелейної лінії, розглянутої, як система. Отже, можна дати ще одне більше повне визначення елемента.

Елемент - це об'єкт, що представляє собою найпростішу частину системи, окремі частини якої не представляють самостійного інтересу в рамках конкретного розгляду.

При проектуванні система (пристрій) повинна задовольняти всім технічним вимогам. Ці вимоги можна розділити на:

- основні, що забезпечують виконання заданих функцій;
- допоміжні, зв'язані, зі зручністю експлуатації, зовнішнім виглядом і т.д.

Відповідно до цього всі елементи системи ділять на основні й допоміжні. Допоміжні елементи не зв'язані безпосередньо з виконанням заданих функцій системи й не впливають на виникнення відмови.

1.4. Основні поняття, терміни й визначення надійності електричних систем

Надійність містить у собі наступні властивості: безвідмовність, довговічність, збережність та ремонтопридатність.

Безвідмовність - властивість будь-якої технічної системи (ТС) безперервно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого наробітку.

Здатність об'єкту зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонтів називається довговічністю.

Збережність - це властивість ТС безупинно зберігати справний і працездатний стан протягом і після зберігання і транспортування. Збережність характеризується здатністю об'єкту протистояти негативному впливу умов зберігання та транспортування на його безвідмовність і довговічність. Тривале зберігання і транспортування об'єктів можуть знизити їх надійність при наступній роботі порівняно до об'єктів, які не піддаються зберігання та транспортуванню.

Ремонтопридатність називають властивість об'єкту, що полягає в пристосованості до попередження і виявлення причин виникнення відмов, ушкоджень і усуненню їх наслідків шляхом проведення ремонту та технічного обслуговування. Дана властивість є дуже важливою, тому що вона характеризує ступінь стандартизації і уніфікації елементів ТС, зручність їх розміщення з погляду доступності для контролю і ремонту, пристосовність до регулювальних операцій тощо.

Технічний стан ТС у дійсний момент часу характеризується справністю або несправністю, працездатністю або непрацездатністю, а також граничним станом.

Справним станом (справністю) ТС називається такий її стан, при якому вона відповідає всім вимогам, установленим нормативно-технічною документацією (НТД). Якщо ТС не відповідає хоча б одному із цих вимог, то вона перебуває в несправному стані.

Якщо ТС перебуває в стані, у якому вона здатна виконувати задані функції, зберігаючи значення заданих параметрів у межах, установлених нормативно-технічною документацією (НТД), то вона перебуває в працездатному стані.

Непрацездатним станом ТС називається стан, при якому значення хоча б одного заданого параметру не відповідає встановленим вимогам НТД.

Поняття справності ширше поняття працездатності. Несправна система може бути працездатною і непрацездатною - все залежить від того, яким вимогам НТД не задовольняє розглянута система. Так, наприклад, якщо погнути корпус світильника, порушено його лакофарбове покриття, ушкоджена оптика, однак параметри джерела світла перебувають у межах норми, таким чином технічна система (ТС) вважається несправною, але в той же час працездатною. Справна ТС завжди працездатна.

При тривалій експлуатації ТС може досягти граничного стану, при якому її подальша експлуатація повинна бути припинена через непереборне порушення вимог безпеки, при відході заданих параметрів за встановлені межі, або непереборного зниження ефективності експлуатації нижче припустимої, або необхідності проведення середнього або капітального ремонту.

Відновлюваною називається така система, працездатність якої у випадку виникнення відмови підлягає відновленню в розглянутій ситуації, якщо ж у розглянутій ситуації відновлення працездатності даної системи при її відмові

по якимось причинах вважається недоцільною або нездійсненою, така система називається невідновлюваною.

Системою, що підлегла ремонту, називається така система, несправність або працездатність якої у випадку виникнення відмови або ушкодження підлягають відновленню. У протилежному випадку, об'єкт називається неремонтуємим (найпростішим прикладом неремонтуємого об'єкту є розрядні джерела світла).

Неремонтуємий пристрій завжди є невідновлюваним (наприклад, резистор, конденсатор, і т.п.). У той же час, ремонтуємий пристрій може бути як відновлюваним, так і невідновлюваним – все залежить від існуючої системи технічного обслуговування та ремонту, конкретної ситуації в момент відмови. Наприклад, в умові експлуатації освітлювальної установки, у якій відмовило ЕМПРА, є системою не відновлюваною; але на ремонтному заводі - уже відновлюваною.

Загальним поняттям є поняття ремонтпридатності. Ремонтпридатність - властивість об'єкту, що полягає в пристосованості до виконання його ремонту та техобслуговування.

На практиці часто бувають такі ситуації, у яких потрібно, щоб пристрій, перебуваючи в режимі очікування, і, потім, почавши працювати в довільний момент часу, проробило б безвідмовно протягом необхідного проміжку часу. Стан працездатності пристрою в довільно обраний момент часу називається готовністю. Якщо при цьому працездатність пристрою буде зберігатися протягом заданого інтервалу часу, то тоді забезпечується так звана оперативна готовність пристрою.

Якість електротехнічного обладнання систем освітлення - сукупність властивостей, що визначають ступінь придатності системи по призначенню; Крім цього системам освітлення і їх окремим елементам як об'єктам (системам) для дослідження надійності властиві в повній або частковій мірі наступні властивості:

- старіння - процес поступової зміни параметрів, викликаний дією різних факторів, незалежних від режиму роботи об'єкту;

- зношування - процес поступової зміни параметрів, викликаний дією факторів, наявність яких залежить від режиму роботи об'єкту;

- резервування - спосіб підвищення надійності об'єкту шляхом включення до нього додаткових елементів при проектуванні або в процесі експлуатації, а так само за рахунок використання надлишкової інформації або надлишкового часу;

- гнучкість - пристосованість об'єкту до збереження працездатності шляхом забезпечення різних режимів роботи;

- термін служби - календарна тривалість експлуатації об'єкту від початку або поновлення після ремонту до настання граничного стану;

- а також готовність; оперативна готовність; відновлюваність; невідновлюваність.

Стосовно до перерахованих властивостей систем освітлення, як об'єкту вивчення надійності під показником надійності будемо розуміти кількісну характеристику одного або декількох її властивостей.

У техніці при дослідженні надійності, поняття системи розглядається як сукупність елементів взаємодіючих між собою в процесі виконання заданих функцій. Для системи освітлення - це виробництво, передача і розподіл світлової енергії.

Елементи системи – завершені пристрої, здатні виконувати локальні функції в системі. Для системи освітлення - це світлові прилади, джерела світла, трансформатори, лінії, розподільні мережі тощо. Будь-який елемент, у свою чергу, може розглядатися як окрема система. Наприклад, лінія складається з елементів: ізолятори, опори, фундаменти, проведення, троси, заземлювачі та ін.

Розглядаючи властивості і характеристики елементів і систем при вивченні їх надійності, припускають їх як предмети певного цільового призначення - об'єкти. Наприклад, при дослідженні надійності освітлювальної установки окремого архітектурного об'єкту вважаємо її системою, а елементи: світлові прилади, джерела світла, вимикачі тощо. Якщо розглядаємо надійність світлового приладу, то елементи – джерело світла, ПРА, відбивач тощо.

Розподіл системи на елементи залежить від характеру розгляду (функціональне, конструктивне, схемне, оперативне й т.д.), точності дослідження, наявності статистичних матеріалів, масштабності об'єкта в цілому.

1.5. Ушкодження і відмови. Класифікація

Іншими важливими поняттями в теорії надійності і практиці експлуатації технічних систем (ТС) є ушкодження і відмови.

Ушкодженням називається подія, що полягає в порушенні справності ТС або її складових частин через вплив зовнішніх умов, що перевищують рівні, установлені науково-технічною документацією.

Відмова - це випадкова подія, що полягає в порушенні працездатності ТС під впливом ряду випадкових факторів.

Ушкодження може бути істотним і з'явитися причиною відмови й несуттєвим, при якому працездатність ТС зберігається.

Стосовно до відмови і ушкодження розглядають критерій, причину, ознаки прояву, характер і наслідки.

Працездатний стан ТС визначаються безліччю заданих параметрів і допусками на них - припустимими межами їхньої зміни.

Критерієм відмови є ознаки виходу хоча б одного заданого параметра за встановлений допуск. Критерії відмови повинні вказуватися в науково-технічній документації на об'єкт.

Причинами відмови можуть бути прорахунки, допущені при конструюванні, дефекти виробництва, порушення правил і норм експлуатації, ушкодження, а також природні процеси зношування й старіння.

Ознаки відмови або ушкодження проявляють безпосередні або непрямі впливи на органи почуттів спостерігача (оператора) явищ, характерних для непрацездатного стану об'єкта, або процесів з ними зв'язаних.

Відмови об'єктів технічних систем можуть бути різних видів і класифікуються за різними ознаками (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Класифікація відмов

Ознаки відмови	Тип відмови	Характеристика відмови
1	2	3
Характер зміни параметру до моменту виникнення відмови	Раптовий	Стрибкоподібна зміна значень одного або декількох параметрів технічної системи
	Поступовий	Поступова зміна одного або декількох параметрів за рахунок повільного, поступового погіршення якості системи. (Наприклад, зменшення світлового потоку джерела світла із часом - поступова відмова)
Зв'язок з відмовами інших елементів (вузлів, пристроїв)	Незалежний (первинний)	Відмова не обумовлена ушкодженнями або аномаліями інших елементів (вузлів)
	Залежний (вторинний)	Відмова обумовлена ушкодженнями або відмовами інших елементів (вузлів, пристроїв). (Наприклад, внаслідок пробою конденсатора може згоріти інший елемент пристрою)
Можливість використання елемента після відмови	Повний	Повна втрата працездатності, що виключає використання технічної системи за призначенням
	Частковий	Подальше використання системи можливо, але з меншою ефективністю

ЛЕКЦІЯ2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

2.1. Етапи аналізу і показники надійності систем освітлення

Існують два основних етапи аналізу надійності будь-якої технічної системи.

Перший етап називається апріорним аналізом надійності й звичайно проводиться на стадії проектування системи. Цей аналіз базується на апріорних (імовірнісних) характеристиках надійності, які лише приблизно відбивають дійсні процеси в апаратурі системи.

Проте, цей аналіз дозволяє на стадії проектування виявити слабкі з погляду надійності місця в конструкції, вжити необхідні заходи до їх усунення, а так само відвернути незадовільні варіанти побудови системи. Тому апріорний аналіз (або розрахунок) надійності має істотне значення в практиці проектування систем і становить невід'ємну частину технічних проектів.

Другий етап називається апостеріорним аналізом надійності. Його проводять на підставі статистичної обробки експериментальних даних про працездатність і відновлюваність системи і її елементів, отриманих у процесі їхнього відпрацювання, випробувань і експлуатації. Метою таких випробувань є одержання оцінок показників надійності об'єкта досліджень.

Ці оцінки одержують методами математичної статистики за результатами спостережень (обмеженого об'єму). При цьому найчастіше припускають, що результати спостережень є випадковими величинами, які підкоряються певному закону розподілу з невідомими параметрами.

У кожному разі під аналізом надійності ТС будемо розуміти визначення (обчислення) конкретних значень показників надійності (апріорний аналіз), або статистичних оцінок показників надійності (апостеріорний аналіз).

Показниками надійності називаються кількісні характеристики одного або декількох властивостей, що визначають надійність елемента (системи).

Розрізняють два основних види показників надійності (ПН).

Одиничний ПН - це кількісна характеристика одного з розглянутих раніше властивостей надійності.

Комплексний ПН - це кількісна характеристика, що визначає дві або більше властивості надійності одночасно.

Вибір ПН багато в чому залежить від призначення системи і характеру її функціонування. При виборі ПН варто мати на увазі, що ці показники повинні досить повно описувати властивості надійності системи, бути зручними для аналітичного розрахунку та експериментальної перевірки за результатами випробувань, повинні мати розумний фізичний зміст і, нарешті, допускати можливість переходу до показників якості й ефективності.

2.2. Априорний і апостеріорний аналіз надійності системи

2.2.1. Одиничні показники надійності, що визначають властивість безвідмовності

Повною характеристикою будь-якої випадкової величини є закон її розподілу, тобто співвідношення між можливими значеннями випадкової величини і відповідними цих значень імовірностями.

Як показники безвідмовності невідновлюваних елементів застосовують наступні кількісні характеристики: імовірність відмови, імовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, середній наробіток до відмови (до першої відмови).

Прироблення до першої відмови (ξ - kci) – це випадкова величина, що представляє собою інтервал часу від моменту включення пристрою до першої відмови.

Імовірність безвідмовної роботи. Основною кількісною характеристикою безвідмовності прийнято вважати імовірність безвідмовної роботи на заданому інтервалі часу, тобто імовірність того, що наробіток до першої відмови ξ перевищує величину t . Таким чином, імовірність безвідмовної роботи показує, з якою імовірністю можна стверджувати, що на інтервалі часу t відмова не виникне.

1) імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ - це ймовірність того, що в заданому інтервалі часу t у виробі не виникає відмови. Функція $P(t)$ є монотонно убутною функцією, тобто в процесі експлуатації і зберігання надійність тільки убиває. Для визначення $P(t)$ використовують наступну статичну оцінку:

$$P(t) = \frac{N - N_0}{N}; \quad (2.1)$$

де N - число виробів, поставлених на випробування (експлуатацію); N_0 – число виробів, що відмовили в перебігу часу t .

Імовірність $P(t)$ безвідмовної роботи – це імовірність того, що за час t відмови не відбудеться у системі або виробі.

2) імовірність роботи без перебоїв $P_{c\bar{o}}(t)$ – це імовірність того, що в заданому інтервалі часу t буде відсутній збій у виробі.

$P_{c\bar{o}}(t) = 1 - q_{c\bar{o}}(t)$; де $q_{c\bar{o}}(t)$ функція розподілу збоїв протягом часу t .

Для визначення стабільності оцінки ми маємо формулу:

$$P_{c\bar{o}}(t) = \frac{N - N_0}{N}; \quad (2.2)$$

де N - число виробів, що подано до експлуатації; N_0 – число виробів, у яких відбувся збій протягом часу t .

Імовірність $q(t)$ відмови елементу – це імовірність того, що відмова відбудеться через час, що не перевищує даної величини t ($J < t$). Іншими словами - це імовірність події протилежна тому випадку, коли $J > t$, і може бути записана у вигляді функції ненадійності:

$$q(t) = P\{\xi < t\} = 1 - p(t), \quad t > 0. \quad (2.3)$$

У статистичному визначенні оцінка ймовірності відмови представляє емпіричну функцію розподілу відмов і є протилежною статистичній оцінці безперервної роботи виробу або системи:

$$q(t) = 1 - P(t) \quad (2.4)$$

Статистична оцінка $q(t)$ визначається за допомогою формули (2.5):

$$q(t) = \frac{N - n(t)}{N} \quad (2.5)$$

де $N - n(t)$ - число виробів, що відмовили до моменту часу t .

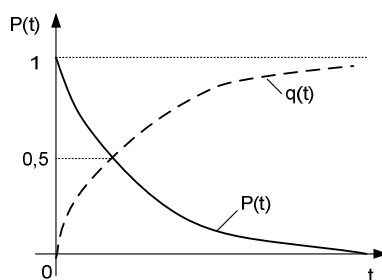


Рис. 2.1 – Імовірність безвідмовної роботи й імовірність відмови

Функція $q(t)$ звичайно тотожно дорівнює нулю при $t < 0$. Значення $q(t) > 0$ при $t < 0$ іноді вводять для опису відмов, що виникають при зберіганні.

Розподіл імовірностей безвідмовної роботи від моменту включення до моменту першої відмови прийнято називати математичною моделлю безвідмовної роботи (безвідмовністю пристрою).

Середній наробіток до відмови (середній час безвідмовної роботи) T – це математичне очікування наробітку до перших відмов визначається так:

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (2.6)$$

Щільність розподілу наробітку до відмови. Функція ненадійності являє собою інтегральну функцію розподілу випадкової величини f .

Якщо функція $q(t)$ диференцуєма, тоді безвідмовність можна характеризувати щільністю розподілу часу безвідмовної роботи або частотою відмови як похідної від функції ненадійності:

$$f(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}, \quad (2.7)$$

де $f(t)$ - щільність вірогідності випадкової величини T або частота відмов (рис. 2.2)

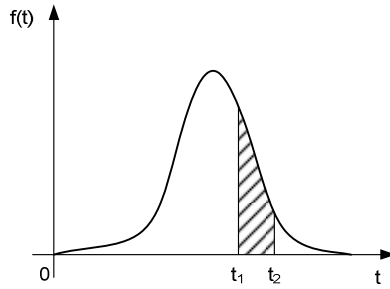


Рис.2.2 – Графічне відображення щільності розподілу наробітку до відмови

Виходячи з рис. 2.2. вірогідність того, що відмова відбудеться протягом часу $(t_1; t_2)$ дорівнює:

$$P(t_1 \leq T \leq t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt, \quad (2.8)$$

Таким чином:

$$P(0 \leq T \leq \infty) = \int_0^{\infty} f(t) dt = 1;$$

$$P(0 \leq T \leq t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(t) dt = q(t);$$

$$P(t)1 - q(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt$$

Для оцінки щільності розподілу наробітку до відмови можемо використати наближене рівняння (2.9):

$$f(t) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t} \quad (2.9)$$

де N – загальна кількість об'єктів; $\Delta n(t)$ – кількість об'єктів, що відмовили протягом часу t .

Інтенсивність відмови $\lambda(t)$ - це умовна щільність імовірності виникнення відмови не відновлюваного об'єкту, у певний розглянутий момент часу, за умови, що до цього моменту відмова не виникала.

Визначимо математичне значення інтенсивності відмови.

Вірогідність безвідмовної роботи об'єкту або системи протягом часу $(t; t_1)$ дорівнює $P(t; t_1) = \frac{P(t_1)}{P(t)}$. Вірогідність відмови протягом часу $(t; t_1)$ дорівнює

$$q(t; t_1) = 1 - P(t; t_1) = 1 - \frac{P(t_1)}{P(t)} = \frac{P(t) - P(t_1)}{P(t)}, \quad \text{де } t_1 = t + \Delta t.$$

$$\text{Таким чином } q(t; t + \Delta t) = \frac{P(t) - P(t + \Delta t)}{P(t)}$$

$$q(t; t + \Delta t) = \frac{P(t) - P(t + \Delta t)}{P(t)} \cdot \frac{1}{P(t)} \Delta t;$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} q(t; t + \Delta t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \left[\frac{P(t) - P(t + \Delta t)}{P(t)} \right] \cdot \frac{\Delta t}{P(t)} = \lim_{N \rightarrow \infty} \left[- \frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{P(t)} \right] \cdot \frac{\Delta t}{P(t)} = - \frac{P'(t)}{P(t)} \Delta t;$$

$$\text{Позначимо } \frac{P'(t)}{P(t)} = \lambda(t), \text{ тоді } \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{q(t; t + \Delta t)}{\Delta t} = \lambda(t).$$

Для визначення інтенсивності відмов $\lambda(t)$ за результатами випробувань використовують наступну статистичну оцінку:

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp}(\Delta t)}; \quad (2.10)$$

де $n(\Delta t)$ – число виробів, що відмовили, в інтервал часу $\Delta(t)$; $N_{cp}(\Delta t)$ – середня кількість справних виробів в інтервалі часу (Δt) , яка визначається за формулою (2.11):

$$N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}. \quad (2.11)$$

Середнє значення і дисперсія тривалості безвідмовної роботи. Функція розподілу (інтегральна або щільність) повністю характеризує випадковий процес, але для рішення багатьох завдань досить знати кілька моментів випадкової величини.

Як відомо, моментом k -того порядку називають інтеграл виду:

$$m_k = \int_0^{\infty} t^k f(t) dt, \quad (2.12)$$

якщо тільки ця величина кінцева.

Момент першого порядку або математичне очікування наробітку елемента (системи) до першої відмови $m_1\{\xi\}$ позначають символом m_{cp} і називають середнім напрацюванням на відмову або середній час безвідмовної роботи:

$$m_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = - \int_0^{\infty} t dP(t) \quad (2.13)$$

Якщо проінтегрувати по частинах вираження (2.13) отримаємо:

$$m_{cp} = -t \cdot P(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (2.14)$$

Для визначення середнього часу безвідмовної роботи виробу за статистичним даними використовують наступне вираження:

$$m_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (2.15)$$

де t - час безвідмовної роботи i -го виробу; N - загальне число виробів, поставлених на випробування; m_t - статистична оцінка середнього часу безвідмовної роботи виробу.

У тому випадку, коли невідомі конкретні моменти відмови системи (об'єкту), слід використовувати формулу знаходження моментів:

$$m_t^* \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n n_i t_{cp.i} \quad (2.16)$$

де n , - кількість виробів, що вийшли з ладу, в i -том інтервалі часу;
 $t_{cp.i} = (t_{i+1} + t_i) / 2$; $n = t_k / \Delta t$; $\Delta t = t_{i+1} - t_i$; t_{i-1} - час початку i -го інтервалу; t_i - час кінця i -го інтервалу; t_k - час, протягом якого вийшли з ладу всі вироби; Δt - інтервал часу.

Ці показники розраховані на виріб, що не підлягає відновленню.

2.2.2. Одиничні показники надійності, що визначають властивість відновлюваності

1. Імовірність відновлення $S(t)$ - це імовірність того, що об'єкт, що відмовив, буде відновлений протягом часу t .

$$S(t) = \frac{n_{\text{в}}}{N_{\text{ов}}} ; \quad (2.17)$$

де $n_{\text{в}}$ - число виробів, час відновлення яких менше заданого часу t ; $N_{\text{ов}}$ - число виробів, що залишились на відновленні.

2. Інтенсивність відновлення $M(t)$ - умовна щільність поширення часу відновлення для моменту часу t за умови, що до цього моменту відновлення об'єкту не відбулось.

$$M(t) = \frac{n_{\text{в}}(\Delta t)}{N_{\text{в.ср}}(\Delta t)} ; \quad (2.18)$$

де $n_{\text{в}}(\Delta t)$ - число відновлених виробів за час Δt . $N_{\text{в.ср}}(\Delta t)$ - середнє число виробів які, не були відновлені протягом часу Δt .

3. Середній час відновлення $m_{\text{в}}$ - це натуральна величина очікування відновлення:

$$m_{\text{в}} = \int_0^{\infty} (1 - S(t)) dt ; \quad (2.19)$$

статистична оцінка якого:

$$T_d = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{CB}}} t_{ib}}{N_{\text{OB}}} \quad (2.20)$$

4. Коефіцієнт готовності $K_{\text{г}}(t)$ - це імовірність того, що виріб працездатний у довільний момент часу t .

$$\text{Стационарна оцінка: } K_{\text{г}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi} + \sum_{i=1}^n t_{bi}} ; \quad (2.21)$$

де t_{pi} - i -й інтервал часу справної роботи об'єкту; t_{bi} - інтервал часу відновлення об'єкту; n - число відмов об'єкту.

Коефіцієнт оперативної готовності $K_{\text{опер.}}(t, \tau)$ показує, наскільки буде працездатною система або окремий виріб в довільний момент часу t .

5. Коефіцієнт оперативної готовності $K_{\text{опер.}}(t, \tau)$ - це імовірність того, що система буде працездатна в довільний момент часу t . і безвідмовно проработить заданий час τ .

$$K_{\text{опер.}}(t, \tau) = K_{\text{с}}(t) \cdot P(\tau) \quad (2.22)$$

Для визначення $K_{\text{опер.}}$ є статистична оцінка:

$$K_{\text{опер.}}(t, \tau) = \frac{N_1(\tau)}{N_0}. \quad (2.23)$$

2.3. Фактори, що впливають на надійність електротехнічного обладнання систем освітлення

При аналізі надійності доцільно розглядати три етапи в створенні системи або окремого виробу:

1. Проектування
2. . Виготовлення
3. . Експлуатація

Фактори, що впливають на надійність електротехнічного обладнання систем освітлення при проектуванні:

Кількість і якість елементів у системі впливає на надійність. Збільшення кількості елементів, що використано, приводить до різкого погіршення надійності всієї системи в цілому. Крім того, застосування менш надійних елементів також приводить до погіршення надійності всієї системи.

Режим роботи елементів. Найнадійніші елементи, які працюють у важкому, непередбаченому режимі, можуть стати джерелом частих відмов. Для кожного елемента встановлюються технічні умови на режим його роботи, які необхідно вибирати у відповідності зі строго регламентованими нормами.

Застосування стандартних і уніфікованих елементів різко підвищує надійність системи. Технологія виробництва цих елементів відпрацьована, надійність їх відома.

Конструктор/проектувальник зобов'язаний **передбачити легкий доступ** до блоків, елементам системи/установки, передбачити сигналізацію про відмову якого-небудь елемента для оперативного вилучення ушкодженого.

Фактори, що впливають на надійність електротехнічного обладнання систем освітлення у процесі виготовлення:

1. Якість матеріалів. Необхідний якісний вхідний контроль матеріалів і комплектуючих виробів, що надходять від інших підприємств;
2. Якість зберігання матеріалів і комплектуючих виробів;
3. Чистота робочих місць, обладнання у приміщенні, охайність робітника;
4. Дотримання технології виготовлення та збірки: термообробка, антикорозійні покриття і т.і.

Фактори, що впливають на надійність електротехнічного обладнання систем освітлення у процесі експлуатації:

1. Кваліфікація обслуговуючого персоналу. Цей фактор доведений практикою.

2. На надійність впливають зовнішні умови: кліматичні умови, вібрації, перевантаження, удари. Також небажаним зовнішнім фактором є часте вмикання та вимикання апаратури.
3. Фактор часу впливає на надійність. Тривалість експлуатації апаратури з моменту випуску до капітального ремонту може становити декілька років. До кінця цього періоду підвищується небезпека виникнення відмов окремих елементів.

2.4. Технологічні особливості забезпечення надійності в системах освітлення

2.4.1. Властивості системи освітлення, що впливають на надійність її роботи

- безперервність і твердий зв'язок у часі процесів виробництва, розподілу й споживання світлової енергії;
- імовірнісний характер формування енергетичних навантажень, обумовлених умовами функціонування ОУ;
- швидкість протікання аварійних процесів;
- вирішальний вплив вимог до надійності електротехнічного обладнання систем освітлення, пов'язаних з роботою всіх галузей господарства, соціальних структур і умов життя населення;
- високі вимоги до системи керування ОУ;
- наявність в установках великої кількості комутаційної апаратури та допоміжних засобів захисту систем від впливу сторонніх факторів;
- вплив зниження напруги в розподільних мережах на якість освітлення.

2.4.2. Поняття про структурну й функціональну надійність електротехнічного обладнання систем освітлення

Виділення в надійності ОУ складових: структурної і функціональної дозволяє спростити методи її аналізу й точніше намітити заходи щодо зміни її рівня.

Структурна надійність - обумовлена взаємодією елементів ОУ, їх зв'язками, пропускними здатностями без врахування їх функцій у системі (особливо важливою є структурна надійність в проектуванні).

Функціональна надійність – її прогнозування опирається на аналізі режимів, їх обмежень, пропускної здатності при зміні структури ОУ (особливо важливою є функціональна надійність при експлуатації).

Показники структурної надійності визначають для вузлів навантаження (імовірність безвідмовної роботи, імовірність відмови, параметр потоку відмов, наробіток до відмови із заданою імовірністю її максимуму, іноді неякісне освітлення, збиток).

Для оцінки структурної надійності використовують імовірнісні моделі, засновані на середніх імовірностях станів елементів (K_r , K_n - змушеного простою, потоку відмов (частоти)).

Допущення: відмови елементів - незалежні, виключаються відмови від загальних факторів (ураган, ожеледь); час безвідмовної роботи багато більше часу відновлення.

ТЕМА 2. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ІМОВІРНОСТІ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ

ЛЕКЦІЯ 3. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І КОРОТКІ ВІДОМОСТІ З ТЕОРІЇ ІМОВІРНОСТЕЙ

3.1. Основи теорії множин

Теорія імовірностей - математична наука, що вивчає закономірності у випадкових явищах. Одним з основних понять є поняття випадкової події (надалі просто подія).

Подією називається всякий факт (результат), що у результаті досвіду (випробування, експерименту) може відбутися або не відбутися. Кожному з таких подій можна поставити у відповідність певне число, назване його ймовірністю і є мірою можливого здійснення цієї події.

Сучасна побудова теорії ймовірностей ґрунтується на аксіоматичному підході й опирається на елементарні поняття теорії множин.

Множина – це будь-яка сукупність об'єктів довільної природи, кожний з яких називається елементом множини. Множини позначаються по-різному: або однією великою буквою або перерахуванням його елементів, даним у фігурних дужках, або вказівкою (у тих же фігурних дужках) правила, по якому елемент ставиться до множини. Наприклад, кінцева множина M натуральних чисел від 1 до 100 може бути записане у вигляді

$$M = \{1, 2, \dots, 100\} = \{i - \text{цїле}; 1 \leq i \leq 100\}.$$

Припустимо, що проводиться деякий дослід (експеримент, випробування), результат якого заздалегідь невідомий, випадковий. Тоді множина Ω всіх можливих ісходів дослідів представляє простір елементарних подій, а кожний його елемент $\alpha \in \Omega$ (один окремих результат дослідів) є елементарною подією. Будь-який набір елементарних подій (будь-яке їх сполучення) вважається підмножиною (частиною) множини Ω і є випадковою подією, тобто будь-яка подія A – це підмножина множини Ω : $A \subset \Omega$. Наприклад, простір елементарних подій при включенні лише одного з шести рівнів освітлення становить шість можливих ісходів $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$. З урахуванням порожньої множини \emptyset , що взагалі не містить елементів, у просторі Ω може бути виділене в цілому $2^6 = 64$ підмножини:

$$\emptyset; \{1\}; \dots; \{6\}; \{1, 2\}; \dots; \{5, 6\}; \{1, 2, 3\}; \dots; \Omega.$$

У загальному випадку, якщо множина Ω містить n елементів, то в ньому можна виділити 2^n підмножин (подій).

Розглядаючи подію Ω (адже кожна множина є своя власна підмножина), можна відзначити, що вона є достовірною подією, тобто здійснюється при будь-якому досліді. Порожня множина \emptyset як подія є неможливою, тобто при будь-якому досліді свідомо не може відбутися. Для попереднього прикладу: достовірна подія $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\} = \{\text{включення лише одного з шести рівнів освітлення}\}$; неможлива подія $\emptyset = \{7\} = \{\text{включення двох рівнів освітлення при вмиканні одного вимикача}\}$.

Сумісні (неспільні) події – такі події, поява одної з яких не виключає (виключає) можливості появи іншої.

Залежні (незалежні) події – такі події, поява одного з яких впливає (не впливає) на появу іншої події.

Протилежна подія щодо деякого обраної події A – подія, що складається з не появи цієї обраної події (позначається \bar{A}).

Повна група подій – така сукупність подій, при якій у результаті досліду має відбутися хоча б одна з подій цієї сукупності. Відомо, що події A і \bar{A} становлять повну групу подій.

Одна із причин застосування теорії множин у теорії ймовірностей полягає в тому, що для множин визначені важливі перетворення, які мають просте геометричне подання і полегшуюче розуміння змісту цих перетворень. Воно зветься діаграмою Ейлера-Венна, і на ній простір Ω зображується у вигляді прямокутника, а різні множини – у вигляді плоских фігур, обмежених замкнутими лініями. Приклад діаграми, що ілюструє включення множин $C \subset B \subset A$, наведений на рис. 3.1.

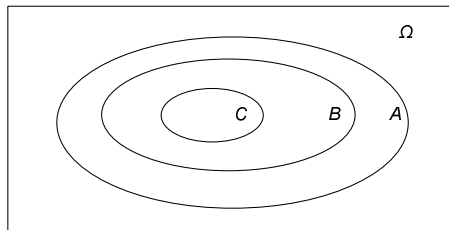


Рис. 3.1 – Включення множин $C \subset B \subset A$

Згідно рис. 3.1. B є підмножиною A , а C – підмножиною B (і одночасно підмножиною A).

3.2. Основні поняття теорії ймовірностей

Надійність виробу залежить від численного комплексу факторів, обумовлених як внутрішніми властивостями виробу, так і впливом зовнішніх умов.

Це приводить до того, що процес виникнення відмов, а також інші характеристики надійності носять випадковий характер.

Для дослідження випадкових явищ використовуються ймовірнісні методи. Розглянемо поняття «подія».

Подія - це всякий факт, що у результаті досліду може відбутися або не відбутися. Прикладом події може служити безвідмовна робота виробу. Подія достовірна - якщо вона обов'язково з'являється в результаті даного досліду. Неможлива подія - якщо вона не може з'явитися в результаті даного досліду. Випадкова подія - подія, що може з'явитися, а може й не з'явитися в результаті даного досліду.

Ймовірність події - це ступінь можливості появи цієї події. Більше ймовірними є ті події, які відбуваються частіше.

Менш ймовірними є ті події, які відбуваються рідше. Мало ймовірними є ті події, які майже ніколи не відбуваються. Достовірній події можна приписати ймовірність, рівну одиниці. Неможливій події можна приписати ймовірність, рівну нулю.

$P(A)$ - ймовірність події A . Розглянемо послідовність n однакових дослідів. Припустимо, що в результаті кожного досліду реєструється поява або не поява

деякої події A . Нехай: m - число появ події A при n дослідах; n - загальне число зроблених досвідів.

$$P^*(A) = \frac{m}{n}; \quad \text{Тут } P^*(A) - \text{частота події } A.$$

При $n \rightarrow \infty$ $P^*(A) \rightarrow P(A)$. Частота події $P^*(A)$ при $n \rightarrow \infty$ сходиться за імовірністю до імовірності цієї події $P(A)$.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{P^*(A) - P(A) | E\} = 1, \quad (3.1)$$

де E - кожне наперед задане, як завгодно мале позитивне число.

3.2.1. Класифікація подій

Кілька подій у даному досвіді утворюють повну групу подій, якщо в результаті досвіду повинне з'явитися хоча б одне з них.

Прикладом подій, що утворюють повну групу можуть служити безвідмовна робота виробу і його відмова.

Неспільні події: кілька подій називаються неспільними в даному досвіді, якщо ніякі два з них не можуть з'явитися разом.

Якщо в даному досвіді можуть мати місце дві неспільних події, то вони називаються протилежними.

A - подія (безвідмовна робота виробу)

\bar{A} - протилежна подія (відмова виробу). Сумою декількох подій називається подія, що складається в появі хоча б одного із цих подій

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_n; \quad (3.2)$$

Добутком декількох подій називається подія, що складається в спільній появі всіх цих подій

$$A = A_1 * A_2 * \dots * A_n. \quad (3.3)$$

3.2.2. Алгебра подій

У прикладних задачах основними є не прямі, а непрямі методи обчислення зазначених імовірностей, подій через імовірності інших, з ними зв'язаних. Для цього потрібно вміти виражати події, що цікавлять нас, через інші, тобто використати алгебру подій.

Відзначимо, що всі поняття, що нижче вводяться, справедливі тоді, коли події про які мова йде, являють собою підмножини того самого простору елементарних подій /.

Сума або об'єднання подій A_1, A_2, \dots, A_n - така подія A , поява якого в досліді еквівалентно появі в тім же досліді хоча б одного з подій A_1, A_2, \dots, A_n . Сума позначається:

$$A = A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n = \bigcup_{i=1}^n A_i \quad (3.4)$$

де \vee - знак логічного додавання подій, \cup - знак логічної суми подій.

Добуток або перетин подій A_1, A_2, \dots, A_n - така подія A , поява якої у досліді еквівалентна появі в тому же досліді всіх подій A_1, A_2, \dots, A_n одночасно. Добуток позначається

$$A = A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_n = \bigcap_{i=1}^n A_i \quad (3.5)$$

де \wedge - знак логічного множення подій, \bigcap - знак логічного добутку подій.

Операції додавання і множення подій володіють рядом властивостей, властивих звичайним додаванню й множенню, а саме: переместительным, сполучним і розподільною властивостями, які очевидні й не мають потреби в поясненні.

Діаграми Ейлера-Венна для суми (а) і добутку (б) двох подій A_1 і A_2 наведені на рис. 3.2.

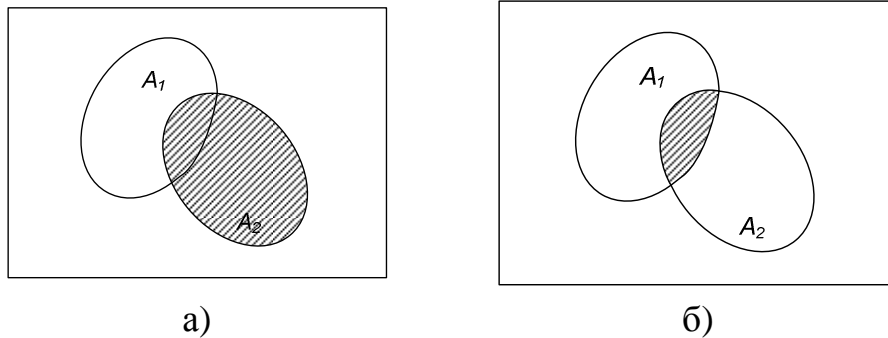


Рис.3.2 – Діаграма Ейлера-Венна: а - сума двох подій, б - добуток двох подій.

Сумою (об'єднанням) подій A_1 і A_2 є подія, що складається в появі хоча б одного із цих подій (заштрихована область на рис. 3.2, а). Добуток подій A_1 і A_2 є подія, що складається в спільному виконанні обох подій (заштриховане перетинання подій A_1 і A_2 – рис. 3.2, б).

З визначення суми і добутку подій треба, що

$$A = A \vee A; A = A \vee \emptyset; \Omega = A \vee \Omega; A = A \wedge A; \emptyset = A \wedge \emptyset; A = A \wedge \Omega.$$

Якщо події A_i ($i=1, \dots, n$) або $\{A_i\}_{i=1}^n$ становлять повну групу подій, то їхня сума є достовірну подію

$$\bigcup_{i=1}^n A_i = \Omega \quad (3.6)$$

Зображення протилежної події \bar{A} наведене на мал. 3.3. Область \bar{A} доповнює A до повного простору Ω . З визначення протилежної події треба, що

$$(\bar{\bar{A}}) = A; \bar{\bar{\Omega}} = \emptyset; \bar{\emptyset} = \Omega \quad (3.7)$$

Інші властивості протилежних подій відбиті в законах де Моргана:

$$\overline{A_1 \vee A_2} = \bar{A}_1 \wedge \bar{A}_2; \quad \overline{A_1 \wedge A_2} = \bar{A}_1 \vee \bar{A}_2; \quad (3.8)$$

що пояснюються на рис. 3.4.

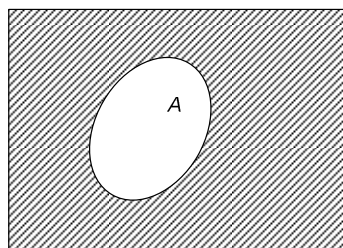


Рис. 3.3 – Графічне подання протилежної події

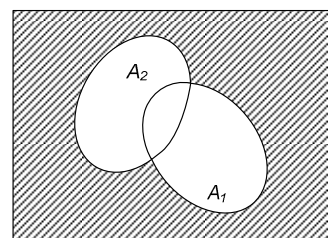


Рис. 3.4 – Графічне подання двох протилежних подій

3.2.3. Аксиоми теорії ймовірностей

Зіставимо кожній події A число, називана, як і колись, його ймовірністю й позначуване $P(A)$ або $P\{A\}$. Ймовірність вибирають так, щоб вона задовольняла наступним умовам або аксіомам:

$$P(\Omega) = 1; P(\emptyset) = 0 \quad (3.9)$$

$$P(\emptyset) \leq P(A) \leq P(\Omega) \quad (3.10)$$

Якщо A_i і A_j неспільні події, тобто $A_i \wedge A_j = \emptyset$, то

$$P(A_i \vee A_j) = P(A_i) + P(A_j). \quad (3.11)$$

Наведені аксиоми постулюються, і спроба довести їхній позбавлена змісту. Єдиним критерієм справедливості є ступінь, з якого теорія, побудована на їх основі, відбиває реальність.

Аксіому (3.11) можна узагальнити на будь-яке кінцеве число неспільних подій $\{A_i\}_{i=1}^n$:

$$P\left\{\bigcup_{i=1}^n A_i\right\} = \sum_{i=1}^n P(A_i) \quad (3.12)$$

За допомогою аксіом можна обчислити ймовірності будь-яких подій (підмножин простору Ω) за допомогою ймовірностей елементарних подій. Питання про те, як визначити ймовірності елементарних подій, є риторичним. На практиці вони визначаються або з міркувань, пов'язаних з можливими исходами досвіду (наприклад, у випадку кидання монети природно вважати ймовірності випадання орла або решки однаковими), або на основі досвідчених даних (частот).

Останній підхід широко розповсюджений у прикладних інженерних задачах, оскільки дозволяє побічно співвіднести результати аналізу з фізичною реальністю.

Припустимо, що в досвіді простір Ω можна представити у вигляді повної групи неспільних і рівновозможних подій A_1, A_2, \dots, A_n . Згідно (3.4) їх сума представляє собою достовірну подію:

$$\bigcup_{i=1}^n A_i = \Omega,$$

тому що події A_1, A_2, \dots, A_n несовместны, те відповідно до аксіом (3.9) і (3.12):

$$P\left\{\bigcup_{i=1}^n A_i\right\} = \sum_{i=1}^n P(A_i) = P(\Omega) = 1 \quad (3.13)$$

Оскільки події A_1, A_2, \dots, A_n рівновозможны, тоді ймовірність кожного з них однакова й дорівнює

$$P(A_1) = P(A_2) = \dots = P(A_n) = \frac{1}{n}.$$

Звідси безпосередньо витікає частотне визначення ймовірності будь-якої події A :

$$P(A) = \frac{m_A}{n}, \quad (3.14)$$

як відношення числа випадків (m), сприятливих появі події A , до загального числа випадків (можливому числу исходів досліду) n .

Зовсім очевидно, що частотна оцінка ймовірності є не що інше як наслідок аксіоми добутку ймовірностей. Зобразивши число n необмежено зростаючим, можна спостерігати явище статистичного упорядкування, коли частота події A усе менше змінюється і наближається до якогось постійного значення, що і представляє ймовірність події A .

3.2.4. Основні правила теорії ймовірностей

Ймовірності складних подій можна обчислювати за допомогою ймовірностей більше простих, користуючись основними правилами (теоремами): додавання й множення ймовірностей.

Теорема додавання ймовірностей. Якщо A_1, A_2, \dots, A_n - неспільні події й A - сума цих подій, то ймовірність події A дорівнює сумі ймовірностей подій A_1, A_2, \dots, A_n :

$$P(A) = P\left\{\bigcup_{i=1}^n A_i\right\} = \sum_{i=1}^n P(A_i) \quad (3.15)$$

або

$$P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n) \dots$$

Ця теорема безпосередньо витікає з аксіоми добутку ймовірностей (3.11). Зокрема, сума ймовірностей n неспільних подій, що утворюють повну групу подій, дорівнює одиниці

$$P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n) = 1; \quad (3.16)$$

де A_1, A_2, \dots, A_n - неспільні події, що утворюють повну групу. Наслідок: Сума ймовірностей двох протилежних подій дорівнює одиниці

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1. \quad (3.17)$$

Теорема множення ймовірностей. Щоб сформулювати в загальному випадку теорему множення ймовірностей, введемо поняття умовної ймовірності.

Умовна ймовірність події A_1 при настанні події A_2 - ймовірність події A_1 , обчислена в припущенні, що подія A_2 відбулася:

$$P(A_1 / A_2) = P(A_1 \cdot A_2) / P(A_2). \quad (3.18)$$

Залежна подія - це така подія, ймовірність якої залежить від того, відбулися або не відбулися інші події.

Незалежна подія - це така подія, ймовірність якого не залежить від того, відбулися або не відбулися інші події.

Ймовірність добутку (спільної появи) двох подій A_1 і A_2 дорівнює ймовірності одного з них, помноженої на умовну ймовірність іншої, у припущенні, що перша подія відбулася:

$$P(A_1 \wedge A_2) = P(A_1) \cdot P(A_2 / A_1) = P(A_2) \cdot P(A_1 / A_2). \quad (3.19)$$

Ймовірність добутку n незалежних подій дорівнює добутку ймовірностей цих подій

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n).$$

Для будь-якого кінцевого числа подій теорема множення має вигляд

$$P\left\{\bigcup_{i=1}^n A_i\right\} = P(A_1 / A_2 \dots A_n) \cdot P(A_2 / A_3 \dots A_n) \cdot \dots \cdot P(A_{n-1} / A_n) \cdot P(A_n). \quad (3.20)$$

У випадку, якщо події A_1 і A_2 незалежні, те відповідні умовні імовірності

$$P(A_1 / A_2) \cdot P(A_1); \quad P(A_2 / A_1) \cdot P(A_2),$$

тому теорема множення ймовірностей приймає вигляд

$$P(A_1 \wedge A_2) = P(A_1) \cdot P(A_2), \quad (3.21)$$

а для кінцевого числа n незалежних подій

$$P\left\{\bigcap_{i=1}^n A_i\right\} = \prod_{i=1}^n P\{A_i\}. \quad (3.22)$$

Наслідком правил додавання і множення імовірностей є **теорема про повторення дослідів (схема Бернуллі)**: *досліди вважаються незалежними, якщо імовірність того або іншого результату кожного з них не залежить від того, які исходи мали інші досліди.*

Нехай у деякому досліді імовірність події A дорівнює $P(A) = p$, а імовірність того, що вона не відбудеться $P(\bar{A}) = q$, причому, $P(A) + P(\bar{A}) = p + q = 1$.

Якщо проводиться n незалежних дослідів, у кожному з яких подія A з'являється з імовірністю p , таким чином імовірність того, що в даній серії дослідів подія A з'являється рівно m раз, визначається за вираженням

$$P_n(m) = \{\text{подія } A \cdot \text{відбулась } m \cdot \text{разів}\} = C_n^m p^m q^{n-m}. \quad (3.23)$$

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} - \text{біноміальний коефіцієнт.}$$

Часто виникають задачі визначення ймовірностей того, що деяка подія A відбудеться щонайменше m раз або не більше m раз. Подібні ймовірності визначаються додаванням імовірностей всіх исходів, які становлять розглянуту подію.

Розрахункові вираження для такого типу ситуацій мають вигляд:

$$P\{\text{подія } A \cdot \text{відбудеться } y \cdot n \cdot \text{дослідах} \cdot \text{менше } m \cdot \text{разів}\} = \sum_{i=1}^{m-1} P_n(i);$$

$$P\{\text{подія } A \cdot \text{відбудеться } y \cdot n \cdot \text{дослідах} \cdot \text{більше } m \cdot \text{разів}\} = \sum_{i=m+1}^n P_n(i);$$

$$P\{\text{подія } A \cdot \text{відбудеться } y \cdot n \cdot \text{дослідах} \cdot \text{не більше } m \cdot \text{разів}\} = \sum_{i=0}^m P_n(i);$$

$$P\{\text{подія } A \cdot \text{відбудеться } y \cdot n \cdot \text{дослідах} \cdot \text{не менше } m \cdot \text{разів}\} = \sum_{i=m}^n P_n(i).$$

де $P_n(i)$ визначається за (3.23).

При більших m обчислення біноміальних коефіцієнтів C_n^m і піднесення в більші ступені p і q зв'язано зі значними труднощами, тому доцільно застосовувати спрощені способи розрахунків. Наближення, називане **теоремою**

Муавра-Лапласа, використовується, якщо $nPq \gg 1$, а $|m - nP| < (nPq)^{0.5}$, у такому випадку вираження (3.23) записується у вигляді:

$$P_n(m) = C_n^m P^m q^{n-m} \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi Pq}} \exp\left(-\frac{(m - nP)^2}{2nPq}\right). \quad (3.24)$$

Формула повної ймовірності й формула Байєса (формула імовірностей гіпотез). У практиці рішення великої кількості задач широке застосування знаходить формула повної імовірності і формула Байєса, які є наслідком основних теорем.

Формула повної ймовірності. Якщо за результатами досвіду можна зробити n існуючих друг друга припущень (гіпотез) H_1, H_2, \dots, H_n , неспільних подій, що представляють повну групу, то ймовірність події A , що може з'явитися тільки з однієї із цих гіпотез, визначається як:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i)P(A/H_i), \quad (3.25)$$

де $P(H_i)$ - імовірність здійснення гіпотези H_i ; $P(A/H_i)$ - умовна імовірність події A за умови, що подія H_i мало місце.

Оскільки подія A може з'явитися з однієї з гіпотез H_1, H_2, \dots, H_n , то $A = AH_1 \vee AH_2 \vee \dots \vee AH_n$, але H_1, H_2, \dots, H_n несовместны, тому

$$P(A) = P(A \wedge H_1) + \dots + P(A \wedge H_n) = \sum_{i=1}^n P(AH_i).$$

Формула Байєса (формула імовірностей гіпотез). Якщо до досвіду ймовірності гіпотез H_1, H_2, \dots, H_n були рівні $P(H_1), P(H_2), \dots, P(H_n)$, а в результаті досвіду відбулася подія A , то нові (умовні) імовірності гіпотез обчислюються:

$$P(A/H_i) = \frac{P(H_i)P(A/H_i)}{\sum_{i=1}^n P(H_i)P(A/H_i)} = \frac{P(H_i)P(A/H_i)}{P(A)}. \quad (3.26)$$

Первісні імовірності (імовірності, що мали місце перед дослідом) гіпотез $P(H_1), P(H_2), \dots, P(H_n)$ називаються априорними, а ті, що відбулися після дослідів - $P(H_1/A), \dots, P(H_n/A)$ - апостеріорними.

Формула Байєса дозволяє «переглянути» можливості гіпотез із урахуванням отриманого результату дослідів.

Доказ формули Байєса треба з попереднього матеріалу. Оскільки $P(H_i \wedge A) = P(H_i) P(A/H_i) = P(H_i) P(H_i/A)$:

$$P(H_i / A) = \frac{P(H_i \wedge A)}{P(A)} = \frac{P(H_i)P(A/H_i)}{P(A)}, \text{ звідки витікає вираження (3.26).}$$

Якщо після досвіду, що дав подію A , проводиться ще один дослід, у результаті якого може відбутися чи ні подія A_1 , то умовна імовірність цієї останньої події обчислюється нез колишніми імовірностями гіпотез $P(H_i)$, а новими - $P(H_i/A)$:

$$P(A_i / A) = \sum_{i=1}^n P(H_i / A) \cdot P(A_i / H_i A). \quad (3.27)$$

Вираження (3.27) називають формулою для імовірностей майбутніх подій.

ЛЕКЦІЯ 4. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

4.1. Загальні поняття про моделі надійності

Для рішення завдань оцінки надійності і прогнозування працездатності об'єкта необхідно мати математичну модель, що представлена аналітичними виразами одного з показників роботи об'єкту досліджень $P(t)$ або $f(t)$ або $\lambda(t)$. Основний шлях для одержання моделі складається в проведенні випробувань, обчисленні статистичних оцінок і їх апроксимації аналітичними функціями.

Вигляд аналітичної функції, що описує зміну показників надійності $P(t)$, $f(t)$ або $\lambda(t)$, визначає закон розподілу випадкової величини, що обирається залежно від властивостей об'єкту, умов його роботи й характеру відмов.

4.2. Статистична обробка результатів випробувань і визначення показників надійності

Постановка завдання

Підбор закону розподілу здійснюється на основі апроксимації (згладжування) експериментальних даних про напрацьовування до відмови, які повинні бути представлені в найбільш компактному графічному вигляді. Вибір тої або іншої апроксимуючої функції носить характер гіпотези, що висуває дослідник. Експериментальні дані можуть із більшою або меншою правдоподібністю підтверджувати або не підтверджувати справедливості тої або іншої гіпотези. Тому дослідник повинен одержати відповідь на таке питання: чи відповідають результати експерименту гіпотезі про те, що випадкова величина напрацьовування підпорядкована обраному закону розподілу? Відповідь на це питання надається в результаті розрахунку спеціальних критеріїв.

Алгоритм обробки результатів і розрахунку показників надійності

Формування статистичного ряду. При великій кількості випробовуваних об'єктів отриманий масив напрацьовувань $\{..., t_i, ...\}$ є громіздкою і мало наочною формою запису випадкової величини T . Тому для компактності та наочності вибірка представляється в графічному зображенні статистичного ряду - гістограмі напрацьовування до відмови (рис. 4.1.). Для побудови діаграми необхідно:

- установити інтервал напрацьовування $[t_{min}, t_{max}]$ і його довжину;
- розбити інтервал напрацьовування $[t_{min}, t_{max}]$ на k інтервалів рівної ширини Δt – крок гістограми, причому

$$\Delta t = \frac{\xi t}{k}, \Delta t = t_{i+1} - t_i = t_i - t_{i-1} \quad (4.1)$$

- підрахувати частоти появи відмов у всіх k інтервалах:

$$P_i = \frac{\Delta n(t_i, t_i + \Delta t)}{N} = \frac{\Delta n(t_i, t_{i+1})}{N} \quad (4.2)$$

де $\Delta n(t_i, t_i + \Delta t)$ – число об'єктів, що відмовили в інтервалі $[t_i, t_i + \Delta t]$;

■ отриманий статистичний ряд представляється у вигляді гістограми, на якій по осі абсцис (t) відкладаються інтервали Δt , на кожному з яких, як на підставі, будується прямокутник, висота якого пропорційна (в обраному масштабі) відповідній частоті \hat{P} (рис. 4.1.).

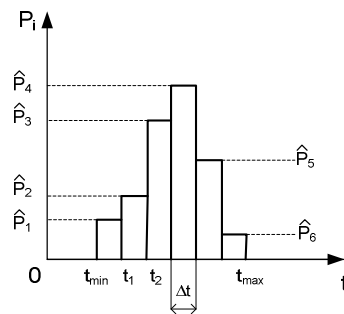


Рис. 4.1 – Стандартний вигляд гістограми напрацьовування до відмови

Розрахунок емпіричних функцій. Використовуючи дані сформованого статистичного ряду, визначаються статистичні оцінки показників надійності, тобто емпіричні функції:

- функція розподілу відмов (оцінка імовірності відмов):

$$Q(t_{\min}) = \frac{n(t_{\min})}{N} = 0$$

.....

$$Q(t_{\max}) = \frac{n(t_{\max})}{N} = \sum_1^k F_i = 1$$

(4.3)

- функція надійності (оцінка імовірності безвідмовної роботи):

$$F(t_{\min}) = 1 - Q(t_{\min}) = 1$$

..... ,

$$F(t_{\max}) = 1 - Q(t_{\max}) = 0$$

(4.4)

графічне подання яких представлено на рис. 4.2а.

- щільність розподілу відмов (рис. 4.2. б):

$$f(t_i) = \frac{\Delta n(t_i, t_{i+1})}{N \Delta t} = \frac{F_i}{\Delta t};$$

(4.5)

- інтенсивність відмов (оцінка інтенсивності відмов) (рис. 4.2. в):

$$\lambda(t_i) = \frac{\Delta n(t_i, t_{i+1})}{N(t_i) \cdot \Delta t} = \frac{\Delta n(t_i, t_{i+1})}{[N - n(t_i)] \cdot \Delta t}.$$

(4.6)

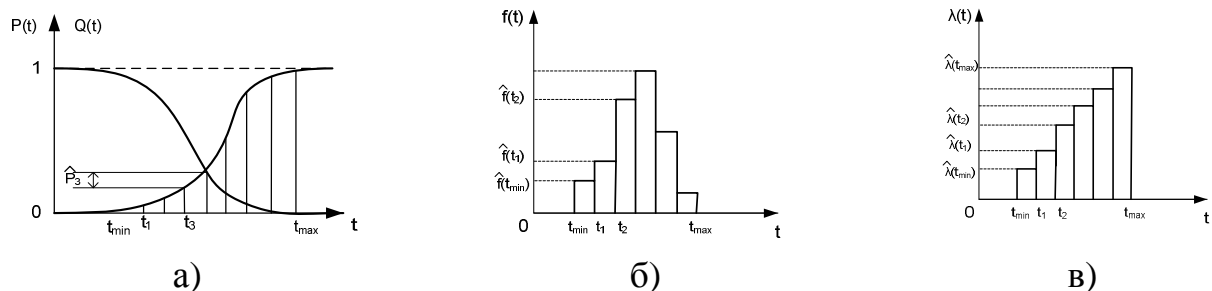


Рис. 4.2 – Графіки статистичної оцінки: а) $F(t)$ і $Q(t)$, б) $f(t)$, в) $\lambda(t)$

Розрахунок статистичних оцінок числових характеристик. Для розрахунку статистичних оцінок числових характеристик можна скористатися даними сформованого статистичного ряду. Оцінки характеристик визначаються відповідно до формул (4.7)-(4.11):

- оцінка середнього напрацьовування до відмови (статистичне середнє напрацьовування):

$$\bar{t}_0 = \sum_{i=1}^k t_i \cdot f_i, \quad (4.7)$$

- оцінка дисперсії напрацьовування до відмови (емпірична дисперсія напрацьовування):

$$D = \sum_{i=1}^k (t_i - \bar{t}_0)^2 \cdot f_i, \quad (4.8)$$

де $t_i = t_i + \Delta t / 2 = t_{i+1} - \Delta t / 2$ – середина i -го інтервалу напрацьовування, тобто середнє значення напрацьовування в інтервалі.

Для оцінки середньоквадратичного відхилення використовують формулу (4.9):

$$D = S^2 \quad (4.9)$$

Доцільно розрахувати оцінки деяких допоміжних характеристик розсіювання випадкової величини T , таких як:

- вибірковий коефіцієнт асиметрії напрацьовування до відмови:

$$A = \sum_{i=1}^k (t_i - \bar{t}_0)^3 \cdot f_i / S^3; \quad (4.10)$$

- вибірковий ексцес напрацьовування до відмови:

$$E = \left[\sum_{i=1}^k (t_i - \bar{t}_0)^4 \cdot f_i / S^4 \right] - 3. \quad (4.11)$$

Ці характеристики використовують для вибору апроксимуючої функції. Так коефіцієнт асиметрії є характеристикою «скошеності» розподілу (рис.4.3.а), у той час, як ексцес характеризує «крутість» (гостро- або плосковершинність) розподілу (рис.4.3.б).

На рис. 4.3.а розподіл $f_2(t)$ має позитивну асиметрію $A > 0$, а $f_3(t)$ – негативну $A < 0$. Для нормального розподілу $E = 0$ (4.3. б). Криві $f(t)$, більше гостровершинні в порівнянні з нормальною, мають $E > 0$, а навпаки – більше плосковершинні, $E < 0$.

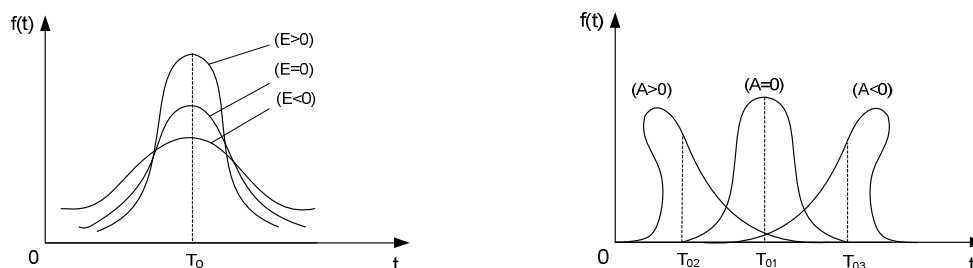


Рис. 4.3 – Графічне подання характеристик розсіювання випадкової величини T .

Вибір закону розподілу. Вибір закону розподілу складається в підборі аналітичної функції що найкраще апроксимує емпіричні функції надійності. Дана процедура невизначена і багато в чому суб'єктивна, при цьому багато чого

залежить від апріорних знань про об'єкт і його властивості, умови роботи, а також аналізу графіків $\hat{F}(t)$, $\hat{f}(t)$, $\hat{\lambda}(t)$.

Гіпотетичний закон розподілу задається деякою теоретичною функцією з параметрами розподілу a, b, c, \dots таким чином, щоб декілька найважливіших числових характеристик теоретичного розподілу дорівнювали відповідним статистичним оцінкам.

Оскільки розбіжності теоретичного закону розподілу і реальних значень про роботу об'єкта неминучі, то виникає питання: чи пояснюються вони випадковими обставинами, пов'язаними з тим, що обраний теоретичний розподіл є помилковим? Відповідь на це питання дає розрахунок за критерієм спільності.

Розрахунок критерію спільності. Критерій спільності – це критерій перевірки гіпотези про те, що випадкова величина T , представлена своєю вибіркою, має розподіл передбачуваного типу.

Алгоритм перевірки. Розраховується критерій, як деяка міра розбіжності теоретичного і емпіричного розподілів, причому ця міра є випадковою величиною.

Чим більша міра розбіжності, тим гірша погодженість емпіричного розподілу з теоретичним, таким чином, гіпотеза про вибір закону розподілу відкидається, як малоправдоподібна. У протилежному випадку - експериментальні дані не суперечать прийнятому розподілу.

З відомих критеріїв найбільш застосовуваними є критерій спільності χ^2 (ксі-квадрат) Пірсона і критерій Колмогорова.

Перевірка погодженості розподілів за критерієм Пірсона проводиться у наступний спосіб:

1. Розраховується міра розбіжності практичних результатів і теоретичного розподілу (критерій χ^2):

$$\chi^2 = N \sum_{i=1}^k (\hat{P}_i - P_i)^2 / P_i \quad (4.12)$$

де $\hat{P}_i = \hat{f}(t_i) \Delta t$ – теоретична частота (імовірність) влучення випадкової величини в інтервал $[t_i, t_i + \Delta t]$.

2. Визначається число ступенів волі $R = k - L$, де L – число незалежних умов, накладених на частоти \hat{P}_i . Найчастіше $L = 3$. Чим більше число ступенів волі, тим більше випадкова величина χ^2 підкоряється розподілу Пірсона.

3. За розрахованими χ^2 і R визначається імовірність P того, що величина, що має розподіл Пірсона з R ступенями волі, перевершить розраховане значення χ^2 .

На практиці, якщо $P < 0,1$, то рекомендується розглянути інший закон розподілу. Однак, лише той факт, що величина P досить велика, не може бути доказом правильності гіпотези, а вказує лише на те, що гіпотеза не суперечить даним експерименту.

Критерій Колмогорова на відміну від критерію Пірсона застосовується лише для безперервних випадкових величин.

4.3. Залежність інтенсивності відмов від часу

Для більшості технічних систем характерні три види залежностей інтенсивності відмов від часу, які відповідають трьом «періодам життя» цих пристроїв - період приробітку, у якому проявляються дефекти технології і виготовлення і які не властиві конструкції; період нормальної експлуатації, протягом якого виникають раптові відмови, властиві самої конструкції; період зношування, викликаного процесами старіння.

Апріорний (імовірнісний) аналіз надійності електротехнічного обладнання систем освітлення, як будь-якої технічної системи, полягає у визначенні конкретних значень показників надійності. При цьому розподіл імовірностей безвідмовної роботи системи від моменту включення до моменту відмови, що називається математичною моделлю безвідмовності, у різних об'єктів протікає по-різному. Інакше кажучи, час між сусідніми відмовами для елементів, вузлів, блоків, підсистем і систем є безперервною випадковою величиною, що характеризується певним законом розподілу, що залежить і від «періодів життя» самої системи, і від її окремих вузлів, блоків і т.д., і від типу самої технічної системи в цілому.

Експоненційний розподіл. При експоненційному законі розподілу часу безвідмовної роботи деякої випадкової величини інтенсивність відмов досліджуваної системи є величиною постійної:

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const} \quad (4.13)$$

Формули, по яких визначаються основні кількісні характеристики надійності електротехнічного обладнання систем освітлення згідно експоненційному закону, приймають наступний вигляд:

- імовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = \exp(-\lambda t) \quad (4.14)$$

- імовірність відмови:

$$q(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (4.15)$$

- інтенсивність відмов:

$$\lambda(t) = \frac{\lambda \exp(-\lambda t)}{\exp(-\lambda t)} = \lambda \quad (4.16)$$

- середній наробіток до відмови

$$m_t = \int_0^{\infty} P(t) dt = 1 / \lambda \quad (4.17)$$

- дисперсія наробітку до відмови

$$D = D\{t\} = \int_0^{\infty} (t - m_t)^2 f(t) dt = 1 / \lambda^2 \quad (4.18)$$

Експоненційний закон надійності справедливий для опису раптових відмов, коли вироб не встигає ще зноситися, тобто не старіє.

Для експоненційного закону розподілу імовірність безвідмовної роботи на деякому інтервалі часу не залежить від минулого часу τ , а залежить лише від t . (рис. 4.4).

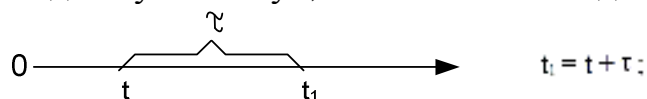


Рис. 4.4 – Графічне подання імовірності безвідмовної роботи для експоненційного закону розподілу

$$P(t, t_1) = \frac{P(t_1)}{P(t)} = \frac{P(t + \tau)}{P(t)} = \frac{e^{-\lambda(t+\tau)}}{e^{-\lambda t}} = e^{-\lambda \tau} \quad (4.19)$$

Нормальний закон розподілу. Нормальний закон розподілу випадкової величини характеризує імовірність відмови при тривалій зміні характеристик виробу (старіння, зношування).

Щільність розподілу часу безвідмовної роботи T виробу при нормальному розподілі дорівнює:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_t}} \exp \left\{ -\frac{(t - m_t)^2}{2D_t} \right\} \quad (4.20)$$

де m_t , D_t - параметри закону розподілу; m_t - середнє значення випадкової величини T ; D_t - дисперсія випадкової величини T .

Виходячи з основних формул:

$$q(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt; \quad P(t) = 1 - q(t); \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)};$$

Для нормального розподілу:

$$q(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_t}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2D_t}} dt. \quad (4.21)$$

Для опису часу безвідмовної роботи T цей закон справедливий, якщо $m_t \gg \sigma_t$ (рис. 4.5), де $\sigma_t = \sqrt{D_t}$

Формули для нормального закону розподілу часу безвідмовної роботи виробу приймають наступний вигляд:

- імовірність безвідмовної роботи: $P(t) = 0,5 - \Phi(U); \quad U = \frac{t - m_t}{\sigma_t}; \quad (4.22)$

- імовірність відмови: $q(t) = 0,5 + \Phi(U); \quad \Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^U e^{-\frac{U^2}{2}} dU; \quad (4.23)$

- частота відмов: $f(t) = \frac{\Phi(U)}{\sigma_t}; \quad \Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{U^2}{2}}; \quad (4.24)$

- інтенсивність відмов $\lambda(t) = \frac{\Phi(U)}{\sigma_t} \cdot \frac{1}{0,5 - \Phi(U)}, \quad (4.25)$

де $\Phi(U)$; - функція Лапласа, що володіє властивостями:

$\Phi(0) = 0; \quad \Phi(-U) = -\Phi(U); \quad \Phi(\infty) = 0,5.$

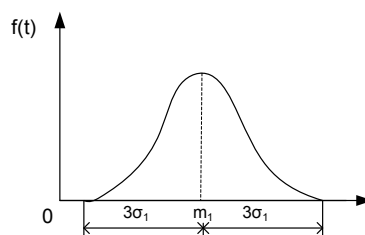


Рис. 4.5 – Нормальний закон розподілу деякої випадкової величини

Закон розподілу Вейбулла. Для розподілу Вейбулла щільність розподілу часу безвідмовної роботи T досліджуваного об'єкту має вигляд:

$$f(t) = akt^{k-1} \cdot e^{-at^k}; \quad (4.26)$$

Тут a і k – параметри закону розподілу Вейбулла (рис. 4.6).

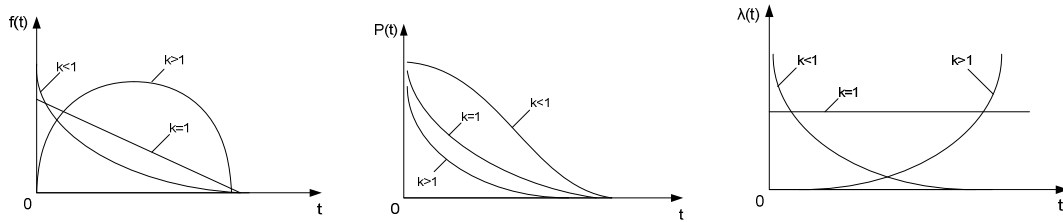


Рис. 4.6 – Графічне подання параметрів закону Вейбулла

Формули для визначення основних кількісних характеристик надійності представлені формулами (4.27)-(4.30).

- імовірності безвідмовної роботи:

$$P(t) = \int_0^t e^{-\lambda(t)dt} = e^{-at^k} \quad (4.27)$$

- імовірність відмови:

$$q(t) = 1 - e^{-at^k} \quad (4.28)$$

- інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = ak \cdot t^{k-1} \quad (4.29)$$

- середнє напрацьовування до відмови

$$m(t) = \frac{\frac{1}{k} \Gamma\left(\frac{1}{k}\right)}{a^{\frac{1}{k}}} \quad (4.30)$$

де $\Gamma(x)$ - гамма-функція, значення якої є табличними.

Закон Вейбулла краще використовувати для опису часу безвідмовної роботи об'єкта, ніж експоненціальний закон, тому що він має два параметри: a і k .

Розподіл Релея. При розподілі Релея ймовірність безвідмовної роботи на інтервалі $(0, t)$ дорівнює (рис 4.7а):

$$P(t) = e^{\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right]} = e^{\left(-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}\right)}. \quad (4.31)$$

де σ_t^2 - параметр розподілу Релея (дорівнює моді цього розподілу).

Мода безперервного розподілу є точкою максимуму щільності розподілу ймовірності $f(t)$. Мода дискретного розподілу є таке спектральне значення ξ_m , при якому попередні і наступні спектральні значення мають ймовірності, менші, ніж $P(\xi_m)$.

Формули для визначення основних кількісних характеристик надійності для розподілу Релея приймають наступний вигляд:

- імовірність відмови:

$$q(t) = 1 - e^{\left(-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}\right)} \quad (4.32)$$

- частота відмов

$$f(t) = \frac{t}{\sigma_t^2} e^{\left(-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}\right)} \quad (4.33)$$

- інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{1}{\sigma_t^2} \cdot t \quad (4.29)$$

- середнє напруцювання до відмови

$$m_t = \int_0^t P(t) dt = \sigma_t \sqrt{\frac{\pi}{2}} \quad (4.30)$$

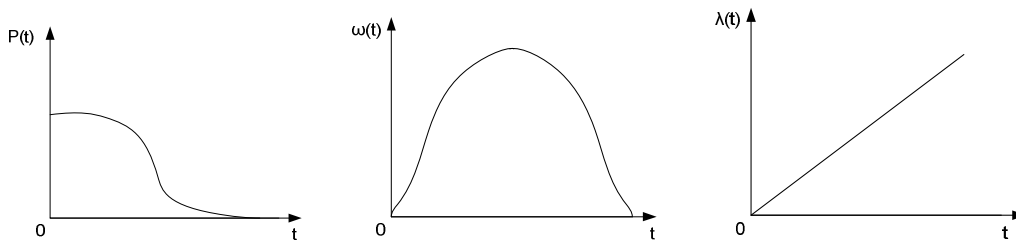


Рис. 4.7 – Графічне подання розподілу Релея

Крім розглянутих законів розподілу, у якості моделі надійності об'єктів можуть бути обрані й інші, наприклад: розподіл Ерланга, гамма-розподіл, трикутний розподіл, суперпозиція розподілів і т.і.

ЛЕКЦІЯ 5. ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

5.1. Вибір і обґрунтування показників надійності

При проектуванні електротехнічного обладнання систем освітлення необхідно здійснювати ряд заходів щодо забезпечення надійності. Основними з них є наступні:

Вибір і обґрунтування принципів техобслуговування.

Вибір основного показника надійності.

Призначення норм надійності.

Розподіл норм надійності системи по елементах.

1. Вибір і обґрунтування принципів техобслуговування. Існують наступні три основних види технічного обслуговування й ремонту:

За календарними строками незалежно від напруцювання об'єкту.

За виробленням встановлених заздалегідь міжремонтних ресурсів.

За технічним станом.

Техобслуговування і ремонт за календарними строками приводять до невиправданих матеріальних витрат, тому що не враховують чи використовувався об'єкт раніше.

Техобслуговування і ремонт за виробленням ресурсу незначно ускладнює конструкцію об'єкта (за рахунок вимірника напруцювання). Організація техобслуговування залишається тут порівняно простою. Однак економія засобів використовується не повністю.

При техобслуговуванні за технічним станом періодично контролюється визначальний параметр. Рішення про заміну, ремонт і техобслуговування приймається за результатами контролю, коли визначальний параметр характеризує наближення системи до відмови або до границі допуску. При цьому значно скорочуються витрати на обслуговування, на дорогі елементи і підвищується надійність.

2. Принципи вибору показників надійності. При порівнянні об'єктів за надійністю виявляється, що показники надійності нерівнозначні.

Звідси випливає необхідність розробки методики вибору нормованих показників надійності. У наші дні нерідко використовують загальну методику вибору показників надійності. Вона полягає у наступному:

Збирають відомості про систему, у яку входить розглянутий об'єкт, і послідовно аналізують фактори, що впливають на вибір показників надійності.

Установлюють призначення об'єкта. При цьому всі об'єкти поділяються на три групи:

а) об'єкти, призначені для роботи в системах, ефективність яких може бути оцінена економічними показниками;

б) об'єкти, функціонування яких може бути пов'язане із забезпеченням безпеки;

в) об'єкти, для яких не можна вказати призначення систем, у яких вони будуть використані.

Розглянемо об'єкти першого типу.

Більшість застосовуваних показників економічної ефективності є функціями від математичного очікування ξ і Π , де:

ξ - вихідний корисний ефект,

Π - витрати на техобслуговування й експлуатацію. Величини ξ і Π залежать від випадкових величин: напрацьовування до відмови T , часу (напрацьовування) між відмовами T , часу відновлення T_B .

Для відновлюваних об'єктів, коли перерви в роботі припустимі, маємо залежність:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \xi(\tilde{T}, T_B) \\ \Pi &= \Pi(\tilde{T}, T_B) \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

Потім одержують вираз для математичного очікування величин ξ і Π (часто попередньо лінеаризував вираз (5.1) за допомогою ряду Тейлора):

$$\left. \begin{aligned} m_\xi &= \xi = \xi(\tilde{T}_{cp}, T_{cpB}) \\ m_\Pi &= \Pi = \Pi(\tilde{T}_{cp}, T_{cpB}) \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

де ξ - середній вихідний ефект, Π - середні витрати, T_{cp} , T_{cpB} - середній час напрацьовування на відмову і середній час відновлення.

Таким чином, для відновлюваних об'єктів, у яких припустимі перерви в роботі, основними показниками надійності є T_{cp} і T_{cpB} або комплексний показник K_G , що залежить від цих двох показників.

Для відновлюваних об'єктів, у яких перерви в роботі не припустимі, маємо релейну залежність функції ϕ , тобто корисний ефект може бути отриманий лише при безвідмовній роботі протягом заданого часу (t_i, t_{i+1}) . Тому для таких систем обирається інтервальний показник надійності - імовірність безвідмовної роботи протягом заданого інтервалу часу.

При призначенні показників надійності систем другого типу (з умов безпеки) необхідно виділити основні фактори, що впливають на безпеку. Відповідні математичні моделі повинні враховувати випадкові процеси, що протікають у системі після появи відмов.

Для третьої групи об'єктів, для яких не можна вказати тип системи, доцільно призначати одну будь-яку повну характеристику надійності:

Для неремонтуємих виробів - функція надійності $P(t)$ або щільність розподілу наробітку до відмови $f(t)$, або інтенсивності відмов $\lambda(t)$.

Для ремонтуємих виробів, що є невідновлюваними у процесі застосування, обчислюють або імовірність безвідмовної роботи $P(t_1, t_2)$ на інтервалі часу (t_1, t_2) , або параметр потоків відмов $Q(t)$.

Для ремонтуємих відновлюваних у процесі застосування виробів показники надійності обчислюють в календарному часі.

Для виробів, перерви в роботі яких припустимі, у якості показників надійності використовують функцію готовності $G(t)$.

Для виробів, перерви в роботі яких неприпустимі, у якості показника надійності використовують імовірність безвідмовної роботи $P(t_1, t_2)$.

На практиці, якщо відомо або передбачається певний тип закону розподілу часу безвідмовної роботи (напрацьовування до відмови), доцільно задавати:

1. При показовому розподілі один з наступних показників:

- інтенсивність відмов λ ;
- середнє напрацьовування до відмови $T_{\text{ср}}$;
- імовірність безвідмовної роботи $P(\Delta t_i)$ на заданому інтервалі часу Δt_i .

2. При двопараметричному законі розподілу напрацьовування до відмови або між відмовами використовують два показники (наприклад, при нормальному розподілі):

- $T_{\text{ср}}$;
- σ_T ;
- $P(t_1)$, $P(t_2)$ - значення імовірності безвідмовної роботи при двох значеннях інтервалу часу роботи $(0, t_1)$ і $(0, t_2)$.

3. Якщо тип закону невідомий, то рекомендується задавати значення:

- $P(t)$ або $\lambda(t)$;
- або $q(t)$ - параметр потоку відмов;
- або інші показники надійності не менш чим при трьох значеннях заданого напрацьовування (часу).

5.2. Призначення норм надійності

Після вибору основних показників надійності необхідно задати чіткі значення цих показників. При цьому необхідно враховувати економічні розрахунки і можливості виробництва.

Спочатку знаходять норми надійності, що відповідають можливостям виробництва. Потім їх уточнюють і вибирають заходи щодо підвищення надійності, найбільш вигідні економічно.

При складанні технічного завдання обґрунтувати кількісні норми (вимоги) за надійністю та інші експлуатаційні властивості звичайно вдається лише після розгляду відповідних характеристик вже існуючих аналогів.

Таким чином, необхідно мати прототип і враховувати тенденції зміни його характеристик. Значення норм надійності прототипу необхідно коректувати з урахуванням наступних факторів:

- Технічних характеристик проектного об'єкта;
- Технічного прогресу за час його проектування і виготовлення;
- Змін умов експлуатації;
- Факторів, що лімітують (вартість, вага, габарити і т.і.);
- Значення наслідків відмов;
- Кваліфікації операторів і деяких інших специфічних для кожного виробу факторів.

Врахування технічних характеристик проектного об'єкта проводять шляхом порівняння показників знову проектного об'єкта з аналогічними показниками існуючих об'єктів з відомою надійністю.

Щоб одержати такі залежності зазвичай будують графіки. У цих графіках по вертикальній осі відкладають значення показника надійності (y), по осі абсцис – значення досліджуваної технічної характеристики (x). На графіку у вигляді окремих точок нанесені дані для технічної системи розглянутого типу. Через точки графіка проводять прямі $y=a+bx$. Параметри цих прямих підбирають за методом найменших квадратів. Якщо графіки будують для декількох технічних характеристик x_1, \dots, x_n , тоді аналогічно можуть бути мінімізовані суми квадратів різниць $(a+b_1x_1+\dots+b_nx_n-y_1)$ і обчислені значення a, b_1, \dots, b_n .

Врахування технічного прогресу. Між випуском об'єктів, дані про які за надійністю відомі, і об'єктом, що повинен бути виготовлений, до моменту його випуску звичайно проходить декілька років. За цей час вдосконалюється конструкція і технологія виготовлення як самих об'єктів, так і елементів, з яких вони виготовлені. Відповідно до цього змінюються і значення показника надійності. Отже, при складанні вимог до проєктованих об'єктів необхідно екстраполювати зміну показника їх надійності аж до моменту виготовлення нових об'єктів.

Для цього необхідно знати надійність всіх аналогічних об'єктів, що випускали раніше. Потім будується графік, що враховує технічний прогрес по роках. По цьому графіку обчислюється коефіцієнт $K_{\text{ТП}}$, що враховує технічний прогрес. Він дорівнює відношенню показників надійності проектного об'єкта і прототипу.

Врахування змін роботи. Проектований об'єкт і прототипи звичайно працюють у різних умовах. Тому необхідно зробити перерахунок показників надійності прототипу на умови застосування проектного об'єкта.

Для цього знаходять коефіцієнт умов застосування K_y . Він дорівнює відношенню значень показників надійності розглянутого об'єкта і прототипу.

Існують чотири методи такого перерахунку:

Метод поправочних коефіцієнтів.

Метод, що використовує гіпотези Н.М. Седякіна про ресурс надійності об'єкта.

Метод, що використовує розрахункові графіки.

Метод, заснований на обліку розкиду значень параметрів режимів застосування об'єктів.

При використанні першого методу спочатку знаходять значення інтенсивності відмов або параметру потоку відмов у лабораторних умовах. Потім коефіцієнт навколишнього середовища - $K_{окр}$. Цей коефіцієнт показує у скільки разів інтенсивність відмов за даних умов більше, ніж при лабораторних.

Коефіцієнт застосування K_y дорівнює відношенню значень коефіцієнта $K_{окр}$ проектного об'єкту і прототипу.

У методі, що використовує гіпотезу Седякіна, застосовують поняття «ресурс (запас) надійності» об'єкту.

Як функцію ресурсів використовують наступний вираз:

$$r(t) = -\ln P(t) = \int_0^t \lambda(t) dt \quad (5.3)$$

Гіпотеза полягає в тому, що імовірність безвідмовної роботи об'єкту в певних умовах залежить від значення виробленого в минулому ресурсу r і не залежить від того, яким чином був вироблений цей ресурс. Цей метод у наш час використовують надзвичайно рідко.

Метод розрахункових графіків є одним з основних методів перерахування показників надійності прототипу на умови застосування проектного об'єкту. Він заснований на використанні графічної залежності показників надійності (рис. 5.1) від параметрів режимів роботи (температури, навантаження і т.і.). Як показники надійності у такому випадку зазвичай використовують інтенсивність відмов $\lambda(t)$ і рідше – параметр потоку відмов $q(t)$.

Уточнення норм надійності і вибір заходу щодо її підвищення. Це фактор коректування норм надійності враховують в основному для виробів, ефект від експлуатації яких може бути визначений економічно.

Середній сумарний ефект Ξ від експлуатації об'єкту залежить від наступних показників: вартості, показників надійності, економічних показників експлуатації. До числа економічних показників експлуатації відносять:

- економічний ефект від виконання завдання;
- середні втрати від відмови;
- збиток в одиницю часу через змушений простій об'єкту.

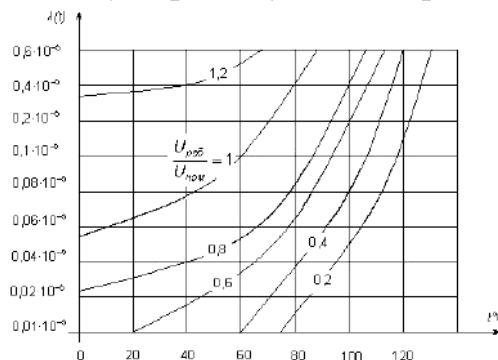


Рис.5.1 – Графічні залежності показників надійності від параметрів режимів роботи об'єкту

Справа в тому, що підвищення надійності виробу звичайно веде до підвищення його собівартості. У той же час експлуатація більш надійного виробу обходиться, як правило, багато дешевше, тому що скорочується збиток через відмови, а також зменшуються витрати на ремонт і профілактичні роботи. У зв'язку із цим виникає проблема призначення таких норм надійності, які забезпечували б максимальний економічний ефект.

Внаслідок того, що витрати на підвищення надійності і втрати через ненадійність об'єктів відбуваються в різні інтервали часу, необхідно розглядати наведений до певного моменту часу (звичайно початку експлуатації) середній вихідний ефект.

Для цього складають математичну модель функціонування об'єктів. Для неремонтуємих об'єктів, коли ефект від роботи прямо пропорційний проробленому часу маємо:

$$\mathcal{E}(t) = -(\beta_1 + \beta_2)t + \gamma t, \quad (5.4)$$

де β_1 - собівартість об'єкту; β_2 - витрати, пов'язані з відмовою; γ - дохід або економічний ефект в одиницю часу функціонування; t - напрацьовування.

Середнє значення ефекту (доходу)

$$\bar{\mathcal{E}}(t) = -(\beta_1 + \beta_2)T_{cp} + \gamma T_{cp}, \quad (5.5)$$

де T_{cp} - середній час наробітку на відмову.

Часто обчислення зручно проводити в календарному часі. Для переходу до календарного часу використовують коефіцієнт V , що дорівнює частці часу використання об'єкту. При цьому:

$$T_{cpK} = \frac{T_{cp}}{V}, \quad (5.6)$$

Витрати через ненадійність і економічний ефект вважають розподіленими рівномірно за часом $(0, T_{cpK})$. При цьому очевидно, що прибуток в одиницю часу а дорівнює:

$$a = \frac{-\beta_2 + \gamma T_{cp}}{T_{cpK}}, \quad (5.7)$$

При цьому при кожному наведеному заході щодо зміни показників надійності визначається величина:

$$\Delta \mathcal{E}_{\Pi i} = \mathcal{E}_{\Pi i} - \mathcal{E}_{\Pi}^0, \quad (5.8)$$

де \mathcal{E}_{Π}^0 - середній наведений ефект для деякого вихідного варіанту об'єкта; $\mathcal{E}_{\Pi i}$ - середній наведений ефект для цього виробу з урахуванням того, що здійснено i -того заходу щодо підвищення надійності.

Потім здійснюється захід для забезпечення максимального збільшення $\Delta \mathcal{E}_{\Pi i}$. Варіант зі здійсненням цього заходу приймається за вихідний, і процес повторюється знову. Процес триває доти, поки значення не буде негативним. За оптимальне значення показників надійності приймається значення, що було досягнуто на попередньому етапі обчислень.

Недолік цього методу полягає в тому, що для його здійснення потрібна значна інформація про проєктований виріб, а вона не завжди є.

5.3. Розподіл норм надійності у елементах

При розрахунку надійності будь-якої технічної системи на першому ж етапі проєктування (етап ескізного проєктування) необхідно знайти значення показників надійності її блоків і вузлів за заданим у технічному завданні значенню показників надійності на всю систему в цілому. При цьому вибір того або іншого способу розподілу норм надійності у блоках, функціональних вузлах і елементах багато в чому залежать від наявної у розробника інформації про систему.

Існує чотири основні прийоми розподілу норм надійності:

1. За принципом рівнонадійності елементів.
2. З урахуванням існуючого співвідношення показників надійності елементів.
3. З урахуванням перспектив удосконалення елементів.
4. З урахуванням вартості проєктування, виробництва і експлуатації елементів.

Розглянемо всі ці способи на прикладах під час практичних занять.

ТЕМА 3. ОСНОВНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

ЛЕКЦІЯ 6. СТРАТЕГІЇ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

6.1. Основи розрахунку надійності систем. Загальні поняття

Завдання розрахунку надійності: визначення показників безвідмовності системи, що складається з невідновлюваних елементів, за даними про надійність елементів і зв'язки між ними.

Ціль розрахунку надійності:

- обґрунтувати вибір того або іншого конструктивного рішення;
- з'ясувати можливість і доцільність резервування;
- з'ясувати, чи досяжна необхідна надійність при існуючій технології розробки й виробництва.

Розрахунок надійності складається з наступних етапів:

1. Визначення складу показників надійності, що розраховуються.
2. Складання (синтез) структурної логічної схеми надійності (структури системи), засноване на аналізі функціонування системи (які блоки включені, у чому складається їх робота, перелік властивостей справної системи й т.п.), і вибір методу розрахунку надійності.
3. Складання математичної моделі, що зв'язує показники системи, що розраховуються, з показниками надійності елементів.

4.Виконання розрахунку, аналіз отриманих результатів, коректування розрахункової моделі.

Склад показників, що розраховуються:

Системи з невідновлюваними елементами

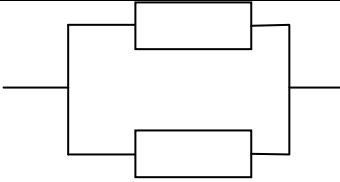
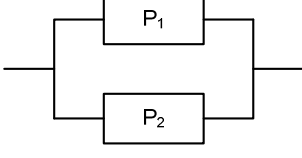
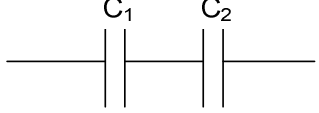
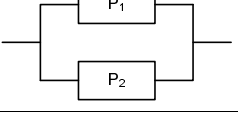
- середнє напрацьовування до відмови (T_{0c});
- імовірність безвідмовної роботи до заданого напрацьовування $P_c(t)$;
- імовірність відмов до заданого напрацьовування $\lambda_3(t)$;
- щільність відмов до заданого напрацьовування $f_c(t)$.
- T_{03} ; $P_c(t)$; коефіцієнт готовності, коефіцієнт оперативної готовності, параметр потоку відмов.

Системи з відновлюваними елементами

Структура системи – логічна схема взаємодії елементів, що визначає працездатність системи або інакше графічне відображення елементів системи, що дозволяє однозначно визначити стан системи (працездатна/непрацездатна) за станом (працездатний/ непрацездатний) елементів.

За структурою системи можуть бути без резервування (основна система) і з резервуванням.

Для тих самих систем можуть бути складені різні структурні схеми надійності залежно від виду відмов елементів:

	Для відмови типу «к. з.» система виявляється непрацездатна при відмові одного зі світильників	Структура надійності 
	При відмові типу «обрив» система працездатна, поки працездатний хоча б один світильник	Структура надійності 
	Для відмови типу «к. з.» (пробій конденсатора) система виявляється працездатною	Структура надійності 

Математична модель надійності – формальні перетворення, що дозволяють одержати розрахункові формули. Моделі можуть бути реалізовані за допомогою:

- методу інтегральних і диференціальних рівнянь;
- на основі графа можливих станів системи;
- на основі логіко-імовірнісних методів;
- на основі дедуктивного методу (дерево відмов).

Найбільш важливим етапом розрахунку надійності є складання структури системи й визначення показників надійності складових її елементів.

По-перше, класифікується поняття (вид) відмов, що істотно впливає на працездатність системи.

По-друге, до складу системи у вигляді окремих елементів можуть входити електричні з'єднання пайкою, стиском або зварюванням, а також інші з'єднання (штепсельні та ін.), оскільки на їх частку доводиться 10-50% загального числа відмов.

По-третє, є неповна інформація про показники надійності елементів, тому доводиться або інтерполювати показники, або використати показники аналогів.

Практично розрахунок надійності проводять у декілька етапів:

1. На стадії складання технічного завдання на проектувану систему, коли її структура не визначена, проводять попередню оцінку надійності, виходячи з апріорної інформації про надійність близьких за характером систем і надійності комплектуючих елементів.

2. Складається структурна схема з показниками надійності елементів, заданими при нормальних (номінальних) умовах експлуатації.

3. Остаточний (коефіцієнтний) розрахунок надійності проводиться на стадії завершення технічного проекту, коли завершена експлуатація досліджуваних зразків і відомі всі можливі умови експлуатації. При цьому коректуються показники надійності елементів, часто у бік їхнього зменшення, вносяться зміни в структуру - вибирається резервування.

6.2. Системи з резервуванням. Загальні поняття

Працездатність систем без резервування вимагає працездатності всіх елементів системи. У складних технічних пристроях без резервування ніколи не вдається досягти високої надійності навіть, якщо використати елементи з високими показниками безвідмовності.

Система з резервуванням – це система з надмірністю елементів, тобто з резервними складовими, надлишковими стосовно мінімально необхідної (основної) структури й виконуючими ті ж функції, що й основні елементи.

У системах з резервуванням працездатність забезпечується доти, поки для заміни основних елементів, що відмовили, є в наявності резервні.

Типи структурного резервування представлені на рис. 6.1.

пасивне (навантажене) – резервні елементи функціонують нарівні з основними (постійно включені в роботу);

активне (ненавантажене) – резервні елементи вводяться в роботу тільки після відмови основних елементів (резервування заміщенням).

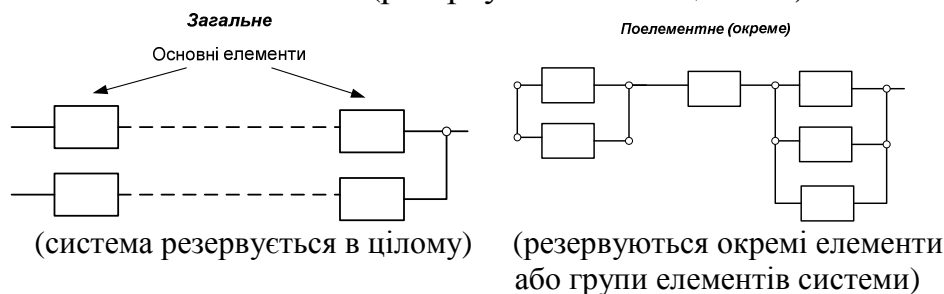


Рис. 6.1 – Типи структурного резервування: а) система резервується в цілому; б) резервуються окремі елементи або групи елементів системи

За типом резервування підрозділяють на:

При навантаженому резервуванні резервні елементи витрачають свій ресурс, мають однаковий розподіл наробітків до відмови й інтенсивність відмов основних $\lambda_{\text{про}}$ і резервні $\lambda_{\text{н}}$ елементів однакова ($\lambda_{\text{про}} = \lambda_{\text{н}}$).

При навантаженому резервуванні розходження між основними і резервними елементами часто умовне. Для забезпечення нормальної роботи (збереження працездатності) необхідно, щоб число працездатних елементів не ставало менше мінімально необхідного.

Різновидом навантаженого резервування є резервування з полегшеним резервом, тобто резервні елементи також перебувають під навантаженням, але меншої, чим основні. Інтенсивність відмов резервних елементів $\lambda_{\text{про}}$ нижче, ніж в основних $\lambda_{\text{про}}$, тобто $\lambda_{\text{про}} > \lambda_{\text{про}}$.

При навантаженому резервуванні резервні елементи не піддаються навантаженню, їх показники надійності не змінюються і вони не можуть відмовити за час знаходження в резерві, тобто інтенсивність відмов резервних елементів $\lambda_{\text{х}} = 0$.

Приклади ненавантаженого резервування представлені на рис. 6.2.

Резервні елементи включаються в роботу тільки після відмови основних елементів. Перемикання виробляється вручну або автоматично (автоматично - включення резервних машин і елементів в енергетику, у бортових мережах судів і літаків і т.і.; вручну - заміна інструмента або оснащення при виробництві, включення ескалаторів у метро у часи «пік» і т.і.).

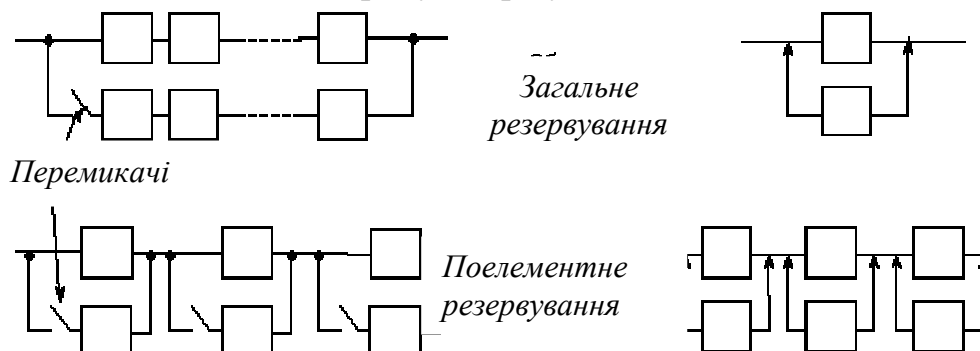
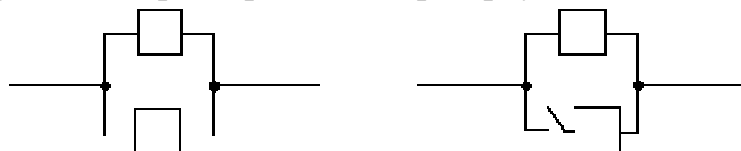


Рис. 6.2 – Приклади ненавантаженого резервування: а) загальне резервування; б) поелементне резервування.

Різновидом ненавантаженого резервування є ковзне резервування, коли той самий резервний елемент може бути використаний для заміни кожного з елементів основної системи.

Якщо розглянути два характерних види резервування:



то очевидно, що при рівності числа основних і резервних елементів ненавантажений резерв забезпечує більшу надійність. Але це справедливо тільки тоді, коли перехід резервного елемента в роботу відбувається абсолютно надійно (тобто імовірність безвідмовної роботи перемикача повинна дорівнювати 1,0). Виконання цієї умови

зв'язано зі значними технічними труднощами або є іноді недоцільним за економічними або технічними причинами.

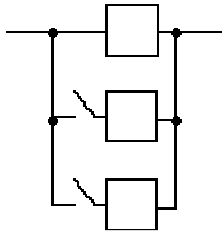
Позначимо: n - число однотипних елементів у системі; r - число елементів, необхідних для функціонування системи.

Кратність резервування – це співвідношення між загальним числом однотипних елементів і елементів, необхідних для роботи системи:

$$k = (n - r) / r \quad (6.1)$$

Кратність резервування може бути цілою, якщо $r = 1$, або дробовою, якщо $r > 1$.

Наприклад:



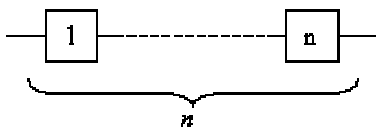
$$r = 1, k = (3 - 1) / 1 = 2.$$

6.3. Надійність основної системи

Основні системи є найпростішими технічними системами, у яких відмова одного елемента приводить до відмови всієї системи.

Працездатність основної системи забезпечується за умови, коли всі n елементів системи перебувають у працездатному стані.

Структура схеми



Випадковий наробіток до відмови

$$T_c = \text{MIN} \{ T_1, \dots, T_n \} = \text{MIN} \{ T_i \}, i = \overline{1, n}.$$

$$i = \overline{1, n}.$$

$$i = \overline{1, n}.$$

Оскільки події, що полягають у працездатності елементів системи, є незалежними, то:

імовірність безвідмовної роботи основної системи визначається як

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t); \quad (6.2)$$

імовірність відмови основної системи визначається як

$$q_c(t) = 1 - P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t). \quad (6.3)$$

При ідентичних елементах основної системи $P_1(t) = \dots = P_n(t) = P(t)$ формули (6.2)-(6.3) приймають наступний вигляд:

$$P_c(t) = P^n(t); \quad (6.4)$$

$$q_c(t) = 1 - P^n(t) \quad (6.5)$$

Оскільки на ділянці нормальної експлуатації напрацьовування до відмови можна описати експонентним розподілом кожного елемента $P_i(t) = \exp(-\lambda_i \cdot t) P^n(t)$, де $\lambda_i = \text{const}$, тоді імовірність безвідмовної роботи основної системи визначається як:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n \exp(-\lambda_i \cdot t) = \exp(-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t). \quad (6.6)$$

Використовуючи рівняння зв'язку показників безвідмовності, що виражає імовірність безвідмовної роботи будь-якого об'єкта, у тому числі і системи

$$P_c(t) = \exp\left\{-\int_0^t \lambda(t) dt\right\}. \quad (6.7)$$

і думаючи, що $P_c(t) = \exp(-\lambda_c \cdot t) = \exp(-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t)$, одержуємо інтенсивність відмов основної системи, рівну сумі інтенсивностей відмов її елементів:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i. \quad (6.8)$$

У загальному випадку, для будь-якого розподілу наробітку інтенсивність відмов системи дорівнює:

$$\lambda_c(t) = \lambda_1(t) + \dots + \lambda_n(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t). \quad (6.9)$$

Для n ідентичних елементів $\lambda_1(t) = \dots = \lambda_n(t) = \lambda(t)$:

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^n \lambda(t) = n \cdot \lambda(t). \quad (6.10)$$

При експонентному розподілі наробітку до відмови кожного з n елементів основної системи $P_i(t) = \exp(-\lambda_i \cdot t)$, де $\lambda_i = \text{const}$ показники безвідмовності основної системи визначаються за формулами (6.11)-(6.21).

Імовірність безвідмовної роботи:

- неідентичних елементів $\lambda_1 = \dots = \lambda_n = \lambda$

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = \exp(-t \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i), \quad (6.11)$$

- ідентичних елементів $\lambda_1 = \dots = \lambda_n = \lambda$

$$P_c(t) = \exp(-n \cdot t \cdot \lambda). \quad (6.12)$$

Імовірність відмови:

- неідентичних елементів $\lambda_1 = \dots = \lambda_n = \lambda$

$$q_c(t) = 1 - P_c(t) = 1 - \exp(-t \cdot \lambda_c), \quad (6.13)$$

- ідентичних елементів $\lambda_1 = \dots = \lambda_n = \lambda$

$$q_c(t) = 1 - \exp(-n \cdot t \cdot \lambda). \quad (6.14)$$

Інтенсивність відмови:

- неідентичних елементів $\lambda_1 = \dots = \lambda_n = \lambda$

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (6.15)$$

- ідентичних елементів $\lambda_1 = \dots = \lambda_n = \lambda$

$$\lambda_c = n \cdot \lambda. \quad (6.16)$$

Середній час напрацьовування до відмови:

- неідентичних елементів $\lambda_1 = \dots = \lambda_n = \lambda$

$$T_{0c} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n 1/T_{0i}}, \quad (6.17)$$

- ідентичних елементів $\lambda_1 = \dots = \lambda_n = \lambda$

$$T_{0c} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{n \cdot \lambda} = \frac{1}{n \cdot 1/T_0} = \frac{T_0}{n}. \quad (6.18)$$

Вираження для середнього часу наробітку до відмови отримані з формули:

$$\begin{aligned} T_{0c} &= \int_0^{\infty} P_c(t) dt = \int_0^{\infty} \exp(-t \cdot \lambda_c) dt = -\frac{1}{\lambda_c} \exp(-t \cdot \lambda_c) \Big|_0^{\infty} = \\ &= -\frac{1}{\lambda_c} [\exp(\infty) - \exp(0)] = -\frac{1}{\lambda_c} \cdot (0 - 1) = \frac{1}{\lambda_c}. \end{aligned} \quad (6.19)$$

Частота відмов:

- неідентичних елементів $\lambda_1 = \dots = \lambda_n = \lambda$

$$f_c(t) = -dP_c(t)/dt = \lambda_c \cdot \exp(-t \cdot \lambda_c), \quad (6.20)$$

- ідентичних елементів $\lambda_1 = \dots = \lambda_n = \lambda$

$$f_c(t) = n \cdot \lambda \cdot \exp(-n \cdot t \cdot \lambda). \quad (6.21)$$

Таким чином, при експоненційному напрацьовуванні до відмови кожного з n елементів, розподіл напрацьовування до відмови основної системи також підкоряється експонентному розподілу.

Для основної системи надійність менше надійності кожного з її елементів. Зі збільшенням числа елементів надійність основної системи зменшується.

Наприклад, при $n = 1000$, $P_i(t) = 0,99$, $P_c(t) < 10^{-4}$ і середнє напрацьовування до відмови системи у 1000 разів менше середнього напрацьовування кожного з елементів.

6.4. Розподіл норм надійності основної системи по елементах

Розглянуті моделі дозволяють визначити показники безвідмовності основної системи за відомими показниками надійності елементів – так вирішується завдання при завершенні технічного проекту, після випробувань досліджуваних зразків системи й складових елементів.

Інакше: значення $P_i(t)$ і-х елементів добре відомі і лише уточнюється значення $P_c(t)$ і рівняється із заданим у ТЗ на проект. При цьому, якщо $P_c(t)$

виходить меншою, ніж у ТЗ, то приймаються заходи для її підвищення (резервування, використання більше надійних елементів і т.і.).

На початковій стадії проектування у ТЗ вказується лише імовірність безвідмовної роботи проекрованої системи. При проектуванні використовують як елементи з відомою надійністю, так і елементи, про надійність яких можна судити лише по їх аналогах (прототипах). При цьому необхідна попередня оцінка надійності елементів, що, надалі уточнюється протягом випробування досліджуваних зразків системи і елементів.

Існують різні способи розподілу норм надійності:

- за принципом рівно надійності елементів;
- з урахуванням даних про аналоги елементів;
- з урахуванням перспектив удосконалювання елементів.

Вибір того або іншого способу залежить від наявної інформації про проектовану систему.

1. Розподіл надійності за принципом рівнонадійності елементів:

Задано: за технічним завданням $P_c(t)$; n – число елементів системи. Розподіл напрацьовування до відмови елементів - експонентне.

При ідентичних (рівнонадійних) елементах ($\lambda_1 = \dots = \lambda_i = \dots = \lambda_n = \lambda$):

$$\lambda_c(t) = n \cdot \lambda; \quad T_{0c} = \frac{1}{n} T_0;$$

інтенсивність відмови i -го елемента: $\ln P_c(t) = -n \cdot \lambda \cdot t$

$$\lambda = \frac{1}{n} \cdot (-\ln P_c(t) / t)$$

2. Розподіл надійності з урахуванням даних про надійність аналогів.

Задано: за технічним завданням ТЗ $P_c(t)$; n – число елементів системи; інтенсивності відмов аналогів – λ_{ai} , $i = \overline{1, n}$.

Визначається частка відмов системи через відмови i -го елемента:

$$k_i = \lambda_{ai} / \lambda_{ac},$$

де $\lambda_{ac} = \sum_{i=1}^n \lambda_{ai}$ – інтенсивність відмови системи за даними про аналоги.

Визначається інтенсивність відмови проекрованої системи:

$$P_c(t) = \exp(-\lambda_c \cdot t)$$

$$\lambda_c(t) = -\ln P_c(t) / t \quad (\lambda_c > 0; \ln P(t) < 0)$$

i інтенсивність відмов складових елементів:

$$\lambda_i = k_i \cdot \lambda_c.$$

3. Розподіл надійності з урахуванням перспектив удосконалювання елементів.

Задано: за технічним завданням ТЗ $P_c(t)$; n – число елементів системи.

Зміна інтенсивності відмов аналогів за часовий період [19XY по 200Z] роки, апроксимовано вираженням $\lambda_{ai} = \varphi(\lambda_{ai}; 19XY)$, де λ_{ai} – інтенсивність відмови і-го аналога у 19XY року.

За вираженням $\lambda_{ai} = \varphi(\lambda_{ai}; 19XY)$ екстраполюється інтенсивність відмов елементів – аналогів до нинішнього року (року проектування системи): $\lambda_{a1(94)}, \dots, \lambda_{ai(94)}, \dots$

Визначається частка відмов системи через відмови і-го елемента:

$$k_i = \lambda_{ai(94)} / \lambda_{ac(94)}, \text{ де } \lambda_{ac(94)} = \sum_{i=1}^n \lambda_{ai(94)},$$

і інтенсивність відмов елементів системи:

$$\lambda_i = k_i \cdot \lambda_c = k_i \cdot (-\ln P_c(t) / t).$$

Принципи розподілу показників надійності за 2 і 3 способами відрізняються лише екстраполяцією значень на рік проектування.

ЛЕКЦІЯ 7. НАДІЙНІСТЬ ВІДНОВЛЮВАНИХ ОБ'ЄКТІВ. НАДІЙНІСТЬ ОБ'ЄКТІВ ПРИ ПОСТУПОВІЙ ВІДМОВІ

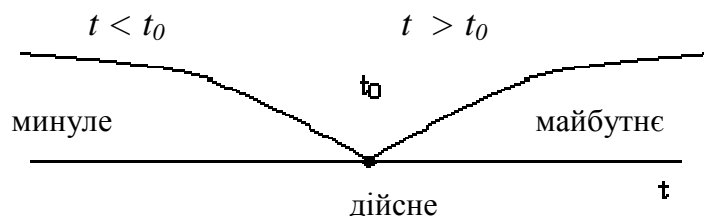
7.1. Постановка задачі. Загальна розрахункова модель

При розрахунку показників надійності відновлюваних об'єктів і систем найпоширеніші допущення:

- 1) експонентний розподіл наробітку між відмовами;
- 2) експонентний розподіл часу відновлення.

При експонентному розподілі наробітку між відмовами й часу відновлення, для розрахунку надійності використовують метод диференціальних рівнянь для ймовірностей станів (рівнянь Колмогорова-Чепмена).

Процес у якій або фізичній системі S , називається марківським, якщо він має наступну властивість: для будь-якого моменту t_0 імовірність стану системи в майбутньому ($t > t_0$) залежить тільки від стану в сьогоденні ($t = t_0$) і не залежить від того, коли і яким образом система прийшла в цей стан (інакше: при фіксованому сьогоденні майбутнє не залежить від передісторії процесу - минулого).



Марківський процес, як процес без післядії, не означає повної незалежності від минулого, оскільки воно проявляється в сьогоденні.

При використанні методу, у загальному випадку, для системи S , необхідно мати математичну модель у вигляді множини станів системи S_1, S_2, \dots, S_n , у які вона може перебувати при відмовах і відновленнях елементів.

Основні правила складання моделі:

1. Математичну модель зображують у вигляді графа станів.

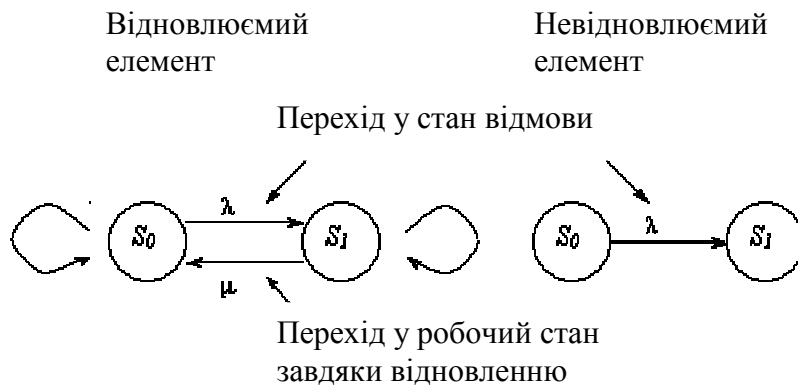
Елементи графа:

а) кружки (вершини графа S_1, S_2, \dots, S_n) – можливі стани системи S , що виникають при відмовах елементів;

б) стрілки – можливі напрямки переходів з одного стану S_i в інше S_j .

Над/під стрілками вказуються інтенсивності переходів.

Приклади графа:



S_0 – працездатний стан; S_1 – стан відмови.

«Петлею» позначаються затримки в тій або іншому стані S_0 і S_1 відповідні:

- справний стан триває;
- стан відмови триває (надалі петлі на графах не розглядаємо).

Граф станів відбиває кінцеве (дискретне) число можливих станів системи S_1, S_2, \dots, S_n ... Кожна з вершин графа відповідає одному зі станів.

2. Для опису випадкового процесу переходу станів (відмова/ відновлення) застосовують імовірності станів

$$P_1(t), P^2(t), \dots, P_i(t), \dots, P_n(t),$$

де $P_i(t)$ – імовірність знаходження системи в момент t в i -м стані.

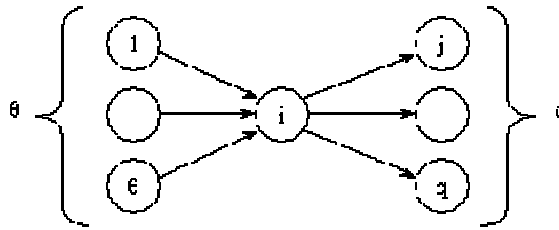
Очевидно, що для будь-якого t

$$\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1 \quad (7.1)$$

(нормувальна умова, оскільки інших станів, крім S_1, S_2, \dots, S_n немає).

3. За графом станів складається система звичайних диференціальних рівнянь першого порядку (рівнянь Колмогорова-Чепмена), що мають вид:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{l=1}^{\theta} \lambda_{lj} P_l(t) - P_i(t) \sum_{j=1}^q \lambda_{ij}, \quad j = l, q; l = 1 \dots \theta \quad (7.2)$$



У загальному випадку, інтенсивності потоків λ_{ij} і μ_{ij} можуть залежати від часу t .

При складанні диференціальних рівнянь користуються простим мнемонічним правилом:

- а) у лівій частині – похідна за часом t від $P_i(t)$;
- б) число членів у правій частині дорівнює числу стрілок, що з'єднують розглянутий стан з іншими станами;
- в) кожний член правої частини дорівнює добутку інтенсивності переходу на ймовірність того стану, з якого виходить стрілка;
- г) знак добутку позитивний, якщо стрілка входить (спрямована вістрям) у розглянутий стан, і негативний, якщо стрілка виходить із нього.

Перевіркою правильності складання рівнянь є рівність нулю суми правих частин рівнянь.

4. Щоб вирішити систему диференціальних рівнянь для ймовірностей станів $P_1(t), P_i(t), \dots, P_n(t)$ необхідно задати початкові значення ймовірностей $P_1(0), P_i(0), \dots, P_n(0)$, при $t = 0$, сума яких дорівнює одиниці:

$$\sum_{i=1}^n P_i(0) = 1.$$

Якщо в початковий момент $t = 0$ стан системи відомо, наприклад, $S(t=0) = S_i$, то $P_i(0) = 1$, а інші дорівнюють нулю.

7.1.1. Показники надійності відновлюваних систем

1. Функція готовності $\Gamma(t)$ системи визначає імовірність знаходження системи в працездатному стані в момент t

$$\Gamma(t) = \sum_{j=1}^K P_j(t) = 1 - \sum_{z=1}^K P_z(t)$$

де $P_j(t)$ – імовірність знаходження системи в працездатному j -м стані;
 $P_z(t)$ – імовірність знаходження системи в непрацездатному z -м стані.

2. Функція простою $\Pi(t)$ системи

$$\Pi(t) = 1 - \Gamma(t) = \sum_{z=1}^M P_z(t)$$

3. Коефіцієнт готовності $k_{г.с.}$ системи визначається при сталому режимі експлуатації (при $t \rightarrow \infty$). При $t \rightarrow \infty$ устальовується *граничний стаціонарний режим*, у ході якого система переходить зі стану «а» у стан «б», але ймовірності станів уже не міняються

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t) = P_i, \quad i = \overline{1, n}$$

Коефіцієнт готовності $k_{z.c.}$ можна розрахувати по системі (7.2) диференціальних рівнянь, дорівнюючи нулю їхні ліві частини $dP_i(t)/dt = 0$, тому що $P_i = const$ при $t \rightarrow \infty$. Тоді система рівнянь (7.2) перетворюється в систему алгебраїчних рівнянь виду:

$$0 = \sum_{l=1}^{\theta} \lambda_{lj} P_l(t) - P_i(t) \sum_{j=1}^q \lambda_{ij}, \quad (7.3)$$

і коефіцієнт готовності:

$$k_{z.c.} = \lim_{t \rightarrow \infty} \Gamma(t),$$

є граничне значення функції готовності при сталому режимі.

4. Параметр потоку відмов системи

$$\omega(t) = \sum_{j=1}^K \sum_{z=1}^M \lambda_{jz} P_j(t), \quad (7.4)$$

де λ_{jz} – інтенсивності (узагальнене позначення) переходів із працездатного стану в непрацездатне.

5. Функція потоку відмов

$$W(t) = \int_0^t \omega(t) dt. \quad (7.5)$$

6. Середній наробіток між відмовами на інтервалі t

$$T_0(t) = \frac{\int_0^t \Gamma(t) dt}{W(t)} \quad (7.6)$$

Коефіцієнт готовності системи $k_{г.с.}$ визначається при сталому режимі $t \rightarrow \infty$, при цьому $P_i(t) = P_i = const$, тому складається система алгебраїчних рівнянь із нульовими лівими частинами, оскільки $dP_i(t)/dt = 0$.

Внаслідок того, що $k_{г.с.}$ є імовірністю того, що система виявиться працездатною в момент t при $t \rightarrow \infty$, то з отриманої системи рівнянь визначається $P_0 = k_{г.с.}$

При $t \rightarrow \infty$ алгебраїчні рівняння мають вигляд:

$$\begin{cases} 0 = -\lambda P_0 + \mu P_1; \\ 0 = -\lambda P_0 - \mu P_1. \end{cases} \quad (7.8)$$

Виражаючи $P_1 = 1 - P_0$, одержуємо $0 = \lambda P_0 - \mu(1 - P_0)$, або $\mu = P_0(\lambda + \mu)$, звідки

$$P_0 = k_{z.c.} = \mu / (\lambda + \mu). \quad (7.9)$$

Інші показники надійності відновлюваного елемента:

- функція готовності $\Gamma(t)$, функція простою $\Pi(t)$

$$\Gamma(t) = P_0(t), \quad \Pi(t) = 1 - \Gamma(t) = P_1(t).$$

- параметр потоку відмов $\omega(t)$ (7.4)

$$\omega(t) = \lambda P_0(t) = \lambda \Gamma(t)$$

При $t \rightarrow \infty$ (стаціонарний сталий режим відновлення)

- провідна функція потоку відмов ($t \rightarrow \infty$)

$$\Gamma(t) = P_0(t), \quad \Pi(t) = 1 - \Gamma(t) = P_1(t).$$

- середній наробіток між відмовами ($t \rightarrow \infty$)

$$t_0 = k_{z.c.} / \omega = k_{z.c.} / \lambda_{z.c.} = 1 / \lambda$$

На рис.7.1 наведена зміна ймовірності знаходження об'єкта в працездатному стані.

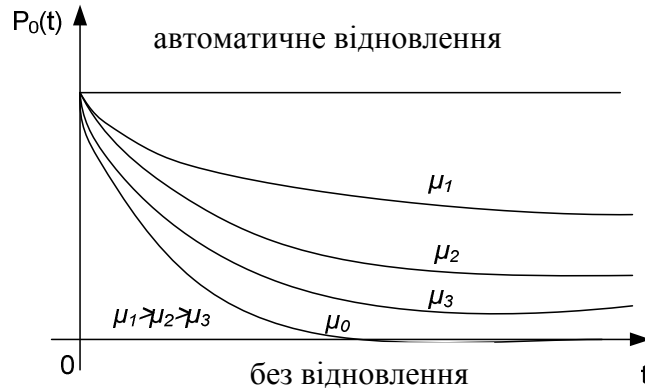


Рис. 7.1 – Графічний вид зміни ймовірності знаходження об'єкта в працездатному стані

Аналіз зміни $P_0(t)$ дозволяє зробити висновки:

1) При миттєвому (автоматичному) відновленні працездатності ($\mu = \infty$)

$\lambda/\mu = 0$ і $P_0(t) = 1$.

2) При відсутності відновлення ($\mu = 0$)

$\lambda/\mu = \infty$ і $P_0(t) = e^{-\lambda t}$.

і ймовірність працездатного стану об'єкта дорівнює ймовірності безвідмовної роботи невідновлюваного елементу.

7.1.2. Зв'язок логічної схеми надійності із графом станів

Перехід від логічної схеми до графа станів необхідний:

1) при зміні методів розрахунку надійності й порівнянні результатів;

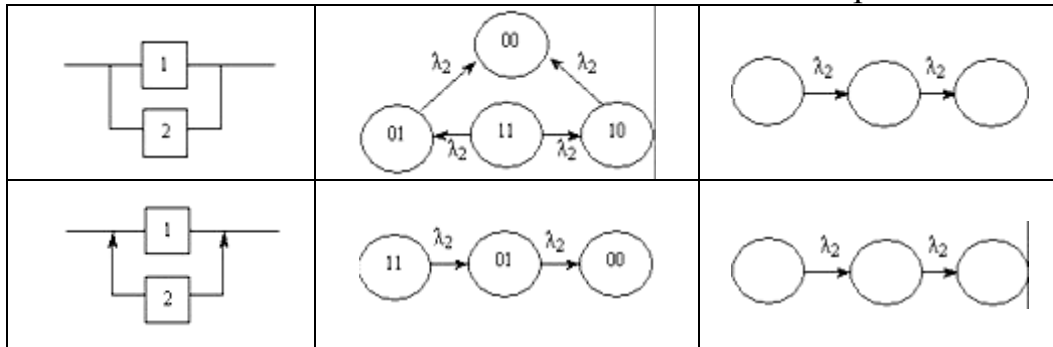
2) для оцінки виграшу в надійності при переході від невідновлюваної системи до відновлюваного.

Розглянемо типові логічні структури надійності. Типові з'єднання розглянуті для невідновлюваних систем (граф – односпрямований).

Для відновлюваних систем у графах станів додаються зворотні стрілки, що відповідають інтенсивностям відновлень $\lambda_{\text{в}}$.

Структурно-логічна схема	Графи станів	
	Елементи різної надійності	Рівнонадійні елементи

Продовження табл.



7.2. Надійність об'єктів при поступових відмовах. Основні розрахункові моделі

Якщо відмови відбуваються через випадкові зміни параметрів об'єкта в часі t (у загальному випадку у функції будь-який монотонно зростаючої величини - наробітку), то ці відмови називаються *поступовими* або *параметричними*.

Надійність визначається імовірністю безвідмовної роботи (ІБР) $P(t)$, що є функціоналом деякого випадкового процесу $\nu(t)$, що характеризує зміну параметрів об'єкта в часі. ІБР об'єкта на відрізку часу $[t_0, t]$ дорівнює ймовірності знаходження процесу $\nu(t)$ у заданій припустимій області Ω протягом цього відрізка часу:

$$P(t) = P\{\nu(t) \in \Omega; \tau \in [t_0, t]\} \quad (7.10)$$

Об'єкт є працездатним, поки величина, що змінюється в часі, не досягає границі припустимої робочої області.

Зміна параметру визначення (ПВ) залежно від часу або наробітку можна в загальному випадку представити трьома періодами.

Перший період - приробіток об'єкту. До кінця цього періоду швидкість зношування стає постійною. Звичайно в процесі приробляння відбувається зменшення швидкості зношування, однак, хоча й рідше, зустрічаються випадки зростання швидкості до стаціонарного значення. Серйозні фірми-виробники для підвищення надійності й конкурентоспроможності виробів здійснюють приробітку на заводах, тому об'єкт може мати постійну швидкість зношування з початку експлуатації.

Другий період характеризує основний період експлуатації, при цьому досягнута до кінця приробляння швидкість зношування зберігається приблизно постійною.

Третій період - період "старіння" об'єкту. Можливості існування об'єкта вичерпуються. Швидкість зміни ПВ катастрофічно зростає.

7.2.1. Основні класи моделей процесів наближення об'єкта до відмоваам

Як відзначалося раніше, основою випадкових процесів зміни ПВ є необоротні випадкові зміни ПВ, викликані старінням, зношуванням або разрегулюванням і що мають певну залежність від часу. При цьому випадковий характер таких змін обумовлений випадковими параметрами, що не залежать від часу. Отже, моделі реальної зміни ПВ об'єкту повинні представляти випадкові функції, аргументами яких є постійні в часі випадкові величини й сам час.

Розглянемо найпоширеніші моделі (класи моделей) нестационарних випадкових процесів наближення до відмов.

7.2.2. Лінійні випадкові функції

При лінеаризації реального процесу зношування об'єкта кожна реалізація $X_j(t)$ процесу замінюється прямий, тобто реальний процес зміни ОП $X(t)$ апроксимується випадковою функцією виду

$$X = \bar{X}_0 \pm V \cdot t, \quad (7.11)$$

де $X_0 = X(t=0) = \{x\}_0$ - випадкове початкове значення ПВ (при $t = 0$), що має математичне очікування (МО) $m_{x_0} = M\{X_0\}$ і середнє квадратичне відхилення (СКВ) $S_{x_0} = \sqrt{D_{X_0}}$; $V\{v\}$ - випадкова нормально розподілена швидкість зміни ПВ у часі, що володіє МО $m_v = M\{V\}$ і СКО $S_v = \sqrt{D_v}$.

7.2.3. Нелінійні випадкові функції

Для багатьох об'єктів типова деяка постійна відносна швидкість зміни параметру визначення

$$\frac{dX(t)/dt}{X(t)} = V',$$

що відповідає нелінійному випадковому процесу $X(t)$, який апроксимується випадковою функцією виду

$$X = \bar{X}_0 \cdot \exp(\pm V' \cdot t), \quad (7.12)$$

де $X_0 = X(t=0) = \{x\}_0$ - як і раніше, випадкове початкове значення ПВ; V' - випадкова, нормально розподілена швидкість зміни натурального логарифма ПВ у часі, що має МО $m_v = M\{V'\}$ і СКВ $S_v = \sqrt{D_{V'}}$.

7.3. Надійність об'єктів при поступових відмовах. Визначення часу збереження працездатності

7.3.1. Склад показників, що розраховуються

Як відзначалося раніше, при виході значень ПВ $X(t)$ за кордон X_n робочої області відбувається відмова об'єкта. Для характеристики надійності об'єкта при поступових відмовах, зв'язаних з випадковим процесом зміни ПВ $X(t)$, можуть обчислюватися показники двох типів:

- імовірність знаходження об'єкта в працездатному стані (частка працездатних об'єктів), тобто імовірність безвідмовної роботи до наробітку (часу) t_i $P(t_i) = P\{X(t_i) < X_n\}$. При цьому розглядається випадкова величина - значення ПВ у момент часу (наробітку) t_i ;
- показники наробітку (часу) до появи поступової відмови – перетинання ПВ границі X_n поля допуску. Для оцінки надійності в цьому випадку можуть використатися: щільність розподілу наробітку до відмови $f(t) = f[X(t)]$, функція надійності (імовірність безвідмовної роботи) $P(t) = P\{T > t\}$, інтенсивність відмов $\lambda(t)$.

Розглянемо моделі розрахунку представлених типів показників. Уважаємо, що об'єкт працездатний, якщо значення його ОП будуть менше границі X_n поля допуску.

7.3.2. Імовірність знаходження в працездатному стані

Для фіксованого моменту часу t_i імовірність того, що об'єкт працездатний, дорівнює

$$P(t_i) = P\{X(t_i) < X_n\} = \int_0^{X_n} f(X) dx \quad (7.13)$$

де $f(X)_i$ - щільність розподілу значень ПВ при $t = t_i$, тобто в i -м перетині випадкового процесу $X(t)$.

Щільність розподілу наробітку до відмови. При випадковому процесі зміни ПВ, що має монотонні реалізації, щільність розподілу часу виходу ПВ за межу X_n робочої області (щільність розподілу часу до відмови) для моменту t_i дорівнює

$$f(t_i) = -d(t)/dt|_{t=t_i} = d(t)/dt|_{t=t_i} \quad (7.14)$$

де $Q(t_i)$ - імовірність знаходження об'єкта в непрацездатному стані, обумовлена через відому за (7.10) $P(t_i)$

$$Q(t_i) = P\{X(t_i) \geq X_n\} = 1 - P(t_i). \quad (7.15)$$

7.3.3. Загальні моделі розрахунку щільності розподілу наробітку до відмови

На практиці обчислення щільності розподілу наробітку до поступової відмови об'єкта при випадковій зміні ПВ проводиться двома шляхами, використання кожного з яких залежить від виду випадкового процесу $X(t)$.

Випадковий процес $X(t)$ відмінний від лінійного. Для кожного інтервалу наробітку $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$ визначається середнє на цьому інтервалі значення щільності розподілу наробітку до відмови шляхом ділення приросту ймовірності того, що об'єкт перебуває в непрацездатному стані, на довжину інтервалу

$$[f_i]_{cp} = \frac{Q(t_{i+1}) - Q(t_i)}{t_{i+1} - t_i} = \frac{P(t_i) - P(t_{i+1})}{t_{i+1} - t_i} \quad (7.16)$$

За отриманим значенням $[f_i]_{cp}$ будується гістограма розподілу часу до відмови, що згладжується безперервною кривою. При цьому можливо підібрати закон розподілу з перевіркою непротиворіччя розрахунковим даним за критерієм Пірсона.

Для обчислення $[f_i]_{cp}$, що відповідає інтервалу Δt_i , необхідно знати закон розподілу ПВ на початку (t_i) і кінці $t_{i+1} = t_i + \Delta t_i$ цього інтервалу.

Випадковий процес $X(t)$ є лінійним. Формально в цьому випадку можна використати перший шлях. Оскільки розподіл ПВ $f(X)_i$ у всіх перетинах ПВ нормально, те середнє значення щільності $[f_i]_{cp}$, визначається за (7.16) через функцію Лапласа

$$[f_i]_{cp} = \frac{\Phi(Z_{i+1}) - \Phi(Z_i)}{t_{i+1} - t_i} \quad (7.17)$$

Для нормально розподіленої випадкової функції $X(t)$ при побудові гістограми середніх значень $[f_i]_{cp}$ досить знати лише її числові

характеристики $m_x(t)$ і $S_x(t)$, по яких знаходять значення S_x , S_{xi} , m_{xi} , m_x , що відповідають початку t_i і кінцю t_{i+1} кожного з інтервалів t_i , необхідні для визначення аргументів функції Лапласа.

7.3.4. Визначення часу збереження працездатності

З розглянутих показників надійності об'єктів при поступових відмовах, викликаних випадковою зміною ПВ, найбільш важливими є: імовірність знаходжень об'єкта в працездатному стані й щільність $f(t)$ розподілу часу (наробітку) до відмови. Останню можна також визначити як щільність розподілу часу досягнення ПВ границі X_n робочої області й позначити $f[X(t)] = f(t)$.

Для практичних цілей організації технічного обслуговування об'єктів і прогнозування працездатності при періодичному контролі ПВ важливо знати конкретний час збереження працездатності.

На прикладі наведених раніше лінійних моделей зміни ПВ $X(t)$ або його логарифма $\ln X(t) = Y(t)$ одержимо розподіл $f[X(t)]$ і розрахункові вираження для визначення часу збереження працездатності об'єкта. Нижче будуть розглядатися тільки моделі зміни ПВ $X(t)$. Для лінеаризованих шляхом логарифмування моделей $\ln X(t) = Y(t)$ розрахункові вираження будуть аналогічними.

ТЕМА 4. СУЧАСНІ МЕТОДИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

ЛЕКЦІЯ 8. КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ. ДІАГНОСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ

8.1. Структурні та діагностичні параметри стану

Структурні та діагностичні параметри стану підрозділяють на ресурсні й функціональні.

Ресурсним називається параметр, зміна якого вище граничного значення обумовлює втрату працездатності складової частини освітлювальної системи через вичерпання ресурсу. Цей параметр відновлюється за допомогою ремонту або заміни складової частини.

Функціональним називається параметр, зміна якого вище граничного значення обумовлює втрату працездатності або несправність однієї складової частини. Він відновлюється при технічному обслуговуванні освітлювальної установки.

Задачею технічного діагностування є визначення: причин відмови апаратів або систем, фактичного технічного стану системи в окремий проміжок часу, необхідності ремонтів, регулювань або заміни апаратів при технічному обслуговуванні, а також оцінка якості виконання робіт при технічному обслуговуванні й ремонті та прогнозування залишкового ресурсу на основі аналізу відмов системи тобто передбачення з певною вірогідністю зміни фактичного стану системи для будь-якого моменту часу.

Ефективна експлуатація засобів диспетчеризації потребує вдосконалювання методів і засобів діагностування з перспективою повної автоматизації процесу діагнозу.

Таким чином, технічна діагностика – це контроль працездатності й справності обстежуваного об'єкта за результатами спеціально проведених випробувань, вимірів, спостережень.

Результатами діагностики є:

1. Визначення стану обстежуваного обладнання.
2. Виявлення виду дефекту або ушкодження, його масштабів, місце розташування, причин появи, що є основою для ухвалення рішення про ремонт (склад ремонту, об'єм, строки проведення і т.і.) або повну заміну обладнання.
3. Прогноз про строки (тривалості) збереження робочих якостей і властивостей протягом наступної експлуатації. Без прогнозу діагностика не може вважатися повноцінною.

Стосовно до технологічно складного електротехнічного обладнання систем освітлення діагностика означає контроль працездатності кожного функціонального вузла або елемента устаткування, кожної його системи.

Діагностика електротехнічного обладнання систем освітлення реалізується у наступних формах:

- ✓ періодичний контроль із висновком контрольованого об'єкта з роботи (off-line);
- ✓ періодичний контроль під робочою напругою (on-line);
- ✓ безперервний автоматичний (on-line) контроль (моніторинг);
- ✓ комплексне діагностичне обстеження.

Періодичний контроль під робочою напругою найменш витратний, але не забезпечує виявлення дефектів, що розвиваються швидко.

Контроль обладнання із висновком з експлуатації надає більші можливості для обстеження, але порушує режим роботи електричної мережі в цілому.

Автоматичний контроль дає незалежні від кваліфікації персоналу результати, дозволяє відслідковувати динаміку зміни контрольованих параметрів у реальному часі, а також контролювати стан окремих вузлів і систем обладнання за допомогою математичних моделей з певною вірогідністю.

Комплексне діагностичне обстеження має на увазі формування агрегированого результату на підставі попередніх 3-х форм діагностики. Ухвалення рішення про стан обладнання є найбільш повним, однак період формування результатів стану є занадто тривалим і не дозволяє вчасно реагувати на динаміку зміни стану обладнання.

Оцінка ефективності форм діагностики наведена в таблиці 8.1.

Підсумкова оцінка формується як середньозважена оцінка, залежно від пропонованих до діагностики вимог.

За результатами порівняння видно, що найбільш перспективною формою діагностики є безперервний автоматичний (он-нпе) контроль або безперервний контроль.

Таблиця 8.1 – Оцінка ефективності форм діагностики обладнання

№ п/п	Форма діагностики електрообладнання систем освітлення	Оцінка форми діагностики по (з урахуванням ваги)							Підсумкова оцінка
		Продовження проведення робіт	Нарушення роботи мережі	Визначення дефектів, що швидко розвиваються	Розрахунок математичних моделей стану устаткування	Кількість елементів	Виявлення дефекту	Витрати на дослідження	
		(0,05)	(0,15)	(0,3)	(0,15)	(0,05)	(0,1)	(0,2)	
1.	Періодичний контроль висновком контролюваного об'єкта з роботи (off-line)	2	1	2	4	4	5	2	2,55
2.	Періодичний контроль під робочою напругою (online)	3	4	1	1	2	2	4	2,3
3.	Безперервний автоматичний (on-line) контроль (моніторинг)	5	5	5	4	3	4	3	4,25
4.	Комплексне діагностичне обстеження	1	2	2	4	5	5	2	2,7

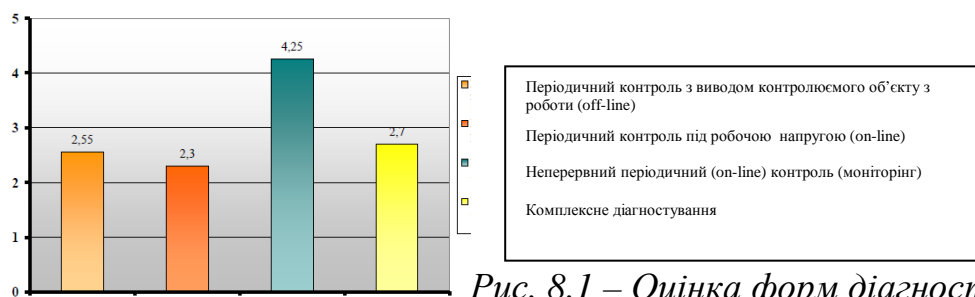


Рис. 8.1 – Оцінка форм діагностики електроустаткування систем освітлення

Разом з тим, жодна з форм діагностики не має абсолютну перевагу для максимально точного й ефективного визначення дефекту, що розвивається, прогнозування безвідмовної роботи при заданих умовах експлуатації, для розрахунку ризиків і ефективності використання обладнання при перевищенні номінальних експлуатаційних характеристик.

Насьогодні основними документами, що регламентують виконання діагностики є:

- РД 34.45-51.300-97 «Об'єм і норми випробувань електроустаткування».
- Правила пристрою електроустановок (7-і видання).
- Методичні вказівки по контролі стану електроустаткування (81 нормативно-технічний документ (НТД) згідно з Наказом від 29.05.2008 № 210 «Про твердження Реєстру діючих у ВАТ «ФСК ЄЕС» нормативно-технічних документів (НТД) електромережевої тематики».

Контроль працездатності (справності) обладнання необхідний для рішення практичних задач, пов'язаних з експлуатацією освітлювальних установок (ОУ), із забезпеченням високих економічних показників і показників надійності роботи електричних мереж у цілому.

Перше завдання – виключення або зниження числа раптових відмов, що супроводжуються значними масштабами ушкодження обладнання, негативними економічними і екологічними наслідками. Ця задача актуальна, насамперед, для діагностики обладнання електричної макросистеми. Для її рішення необхідні методи й технічні засоби контролю, що забезпечують виявлення небезпечних дефектів, що розвиваються, на ранніх стадіях і що дозволяють проводити безперервний контроль (на випадок дефектів, що розвиваються швидко).

Друге завдання з'явилося у зв'язку із прийняттям нових «Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж» (2003 рік), якими скасована система планово-попереджувальних ремонтів зі строгою регламентацією строків і об'ємів ремонту всіх видів електроустаткування.

Третє завдання – достовірна оцінка залишкового ресурсу обладнання, що відпрацювала свій номінальний ресурс (зазвичай 5 років щодо обладнання у самої ОУ та 25 років для обладнання електричних мереж). Актуальність цієї задачі або, точніше, проблеми обумовлена тим, що в електричних системах та зокрема системах освітлення обладнання, що відробило свій номінальний ресурс становить значну частку. Так наприклад, в українських електричних мережах у наш час перебувають в експлуатації порядку 2500 силових трансформаторів 110-750 кВ потужністю 120 мВА й більше. з них приблизно половина вже відробила номінальний ресурс, а близько 10 % проробили більше 40 років. Такий стан сучасних електричних мереж, зокрема мереж освітлення значною мірою таїть у собі небезпеку лавиноподібного зросту числа відмов, обумовлених процесами старіння.

У таких умовах економічно доцільні послідовність, об'єми й строки заміни старого обладнання можуть бути встановлені лише на підставі достовірних оцінок залишкових ресурсів індивідуально для кожного з розглянутих об'єктів. Такий підхід до заміни старого обладнання новим за результатами оцінки залишкового ресурсу, а не по співвідношенню фактичної і нормованої тривалості експлуатації дасть істотний економічний ефект.

8.2. Класифікація й коротка характеристика методів діагностики

Стратегічна діагностика допомагає оцінити ефективність стратегії контролю основних показників електрообладнання систем освітлення, виявити їх сильні та слабкі сигнали, щодо взаємодії їх окремих підсистем та системи в цілому з навколишнім середовищем. Інформація, отримана протягом такої діагностики є великим внеском у статистичний аналіз роботи подібних систем.

Оперативна діагностика електрообладнання систем освітлення є базою для прийняття поточних, оперативних рішень щодо виключення погроз

ушкодження обладнання. До методів оперативної діагностики відносять матеріальні та інформаційні потоки, оцінювання ризику ушкодження.

Експертні методи дослідження використовують для діагностики стану та подальшого прогнозування варіантів розвитку:

- об'єктів, розвиток яких або повністю, або частково не піддається предметному опису чи математичній формалізації;
- при умовах відсутності достатньої або достовірної статистики характеристик об'єкту;
- при умовах великої невизначеності середі функціонування об'єкту;
- у випадках, коли або час, або визначувані параметри не дозволяють дослідити проблеми із застосуванням формальних моделей;
- при умовах відсутності необхідних технічних засобів моделювання, наприклад, комп'ютерної техніки з необхідними характеристиками тощо;
- в екстремальних ситуаціях.

Експертні оцінки широко використовують у практиці техніко-економічного аналізу, оскільки вони дозволяють отримати надійну, а іноді єдино можливу інформацію.

Статистичний аналіз, що є основою діагностики, складається з:

- методів математичної надійності;
- методів теорії вірогідності;
- теорії масового обслуговування;
- методів статистичних випробувань;
- методів статистичного імітаційного моделювання.

Недоліком статистичних методів є той факт, що результати їх використання достовірні лише з тою вірогідністю, яку задає дослід на початку дослідів. Крім того, для отримання результатів за допомогою цих методів необхідна обробка великої кількості статистичного матеріалу, недостовірність і суб'єктивність таких результатів також відносяться до недоліків статистичної обробки результатів діагностики електрообладнання систем освітлення.

Переваги статистичних методів діагностики:

- такі методи дозволяють отримати результати навіть у тих випадків, коли невідомий аналітичний зв'язок між параметрами системи та результатом її функціонування;
- дозволяють описувати та будувати моделі систем будь-якої складності.
- Факторний аналіз заснован на багатомірних статистичних дослідженнях ряду факторів, що мають як негативний, так і позитивний вплив на результати функціонування освітлювальної установки. Метою такого методу є виявлення генеральних, головних факторів, визначаючих основні результати діяльності аналізуємого об'єкту.

Методи математичного програмування застосовуються для знаходження екстремальних значень (максимуму або мінімуму) деяких функцій змінних величин. Найбільшого поширення отримали наступні методи математичного

програмування: лінійне, нелінійне, динамічне, статистичне, целочислене програмування.

Методи математичного програмування мають такі переваги:

- можливість вибору оптимального варіанту зі значною кількістю альтернатив;
- висока оперативність отримання результатів рішення за рахунок застосування комп'ютерної техніки;
- можливість вирішення великої кількості задач (лінійні, нелінійні, статистичні і т.і.)
- Однак у цих методів також є свої недоліки:
- метод достатньо трудомісткий та потребує великого об'єму розрахунків;
- є необхідність описання альтернативних рішень та основних обмежень у вигляді математичних виразів.

Математичне моделювання. Математичні моделі дозволяють виявити особливості функціонування об'єкту та на основі цього передумовити перебіг функціонування при зміні зовнішніх параметрів. Моделю, що використовують у діагностиці можна класифікувати наступним чином:

- Моделі макро- і мікрорівня;
- Теоретичні та прикладні моделі;
- Оптимізаційні та рівноважні;
- Статичні та динамічні моделі

Класифікація параметрів діагностики електротехнічного обладнання систем освітлення має шість рівнів:

1-й містить у собі основні агрегати й вузли, з яких складається діагностуємо система освітлення;

2-й містить з'єднання та елементи вузлів і агрегатів, що мають у процесі експлуатації найбільш відчутні зношування й відхилення структурних параметрів;

3-й містить у собі структурні параметри з'єднань і елементів. Склад структурних параметрів визначається на основі аналізу взаємодії елементів і з'єднань із урахуванням критеріїв експлуатаційної надійності;

4-й містить перелік можливих несправностей виробів електротехнічного обладнання систем освітлення;

5-й – перелік симптомів, за допомогою яких проявляється кожна несправність;

6-й попередній перелік всіх можливих діагностичних параметрів, з яких вибираються тільки задовольняючим вищезгаданим вимогам.

Параметри 6-го рівня дозволяють оцінити працездатність освітлювальної системи без її розбирання і вказують на конкретну несправність. Аналогічні блок-схеми необхідно складати для всіх підсистем досліджуваного об'єкту (освітлювальної установки і т.п.).

Для підвищення ефективності процесу діагностування треба із всіх можливих перевірок проводити тільки необхідні та у зовсім певній

послідовності за алгоритмом. Будувати діагностичний процес потрібно як деяку процедуру, при якій не тільки оцінюються значення параметрів, але відбувається керування процесом збору інформації.

Алгоритм діагностування електротехнічного обладнання систем освітлення має бути побудований таким чином, щоб по обраному переліку параметрів можна було б визначити працездатність системи й локалізувати наявні несправності.

ЛЕКЦІЯ 9. СТРАТЕГІЇ Й СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ

Автоматизоване керування освітленням призначена для підвищення економічності, надійності електропостачання споживачів і якості світлової енергії, удосконалювання контролю, обліку й керування електроспоживанням і збутом енергії за допомогою автоматизації й відповідного підвищення ефективності оперативно-диспетчерського, технологічного й організаційно-економічного керування.

Керування роботою систем освітлення являє собою інтегровану, ієрархічну систему (СКО), що об'єднує функції диспетчерського, виробничо-технічного та організаційно-економічного керування, а також забезпечує спільне функціонування обладнання цих систем, автоматизованих систем диспетчерського керування районів електричних мереж (АСДК РЕМ) і автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП) підстанцій, що перебувають в оперативному керуванні.

Загальна стратегія контролю та керування системами освітлення передбачає наявність:

- інтегрованої автоматизованої системи диспетчерського і технологічного керування;
- автоматизованої системи виробничо-технічного керування;
- автоматизованої системи організаційно-економічного керування;
- автоматизованої системи зв'язку.

До верхнього рівня диспетчерського і технологічного керування відноситься комплекс технічних засобів і математичного забезпечення, призначений для планування режимів і оперативного керування системи освітлення.

До нижнього рівня диспетчерського і технологічного керування системи освітлення відносяться центри і системи диспетчерського та технологічного керування, що забезпечують керування районами електричних мереж і підстанціями.

Система передачі оперативно-технологічної інформації є частиною загальної системи передачі інформації щодо функціонування ОУ і включає засоби й методи передачі телемеханічної (даних про параметри режиму й положення основної комутаційної апаратури), а також алфавітно-цифровій диспетчерській і технологічній інформації. Система передачі даних також є частиною СКО і включає засоби і методи передачі алфавітно-цифрової виробничо-технічної і організаційно-економічної інформації.

9.1. Основні функції й завдання контролю електротехнічного обладнання систем освітлення

Система керування освітленням повинна виконувати наступні функції:

- оперативне і автоматичне керування режимами електричних мереж у реальному часі;
- контроль, облік, керування споживанням і збутом електроенергії;
- контроль, облік світлової енергії;
- планування режимів електричних мереж;
- керування виробничо-технічною діяльністю;
- діагностику встаткування електричних мереж і електротехнічного встаткування освітлювальних установок;
- керування ремонтом і технічним обслуговуванням ліній електропередачі, підстанцій, ОУ;
- керування матеріально-технічним постачанням;
- керування засобами механізації й транспортом;
- бухгалтерський облік;
- керування працею й кадрами;
- вимоги охорони праці й техніки безпеки;
- навчання, тренування й підвищення кваліфікації персоналу;
- керування капітальним будівництвом;
- загальне керування.

До завдань оперативного і автоматичного керування режимами електричних мереж у реальному часі відносять:

- контроль схем електричних мереж;
- реєстрація змін показників системи за списком подій;
- оцінювання поточного стану системи;
- вірогідність телевимірювань;
- фіксація параметрів при виникненні КЗ і визначення відстані до місця ушкодження;
- ретроспективний аналіз аварійних ситуацій;
- контроль параметрів режиму (по надійності, якості електроенергії, по відхиленнях від планових значень);
- оперативний прогноз навантажень;
- формування й контроль балансу активної потужності;
- формування й контроль балансу електроенергії;
- оперативний контроль за споживанням енергії й потужності великими підприємствами;
- оперативний розрахунок і оптимізація режимів електричних мереж у реальному часі;
- оперативний розрахунок втрат електроенергії;
- подання диспетчерові рекомендацій з усунення можливих відхилень від нормального режиму (при перевантаженні, відхиленнях напруг у контрольних точках);

- нагромадження й видача ретроспективних даних;
- ведення добової відомості;
- завдання телекерування.
- До завдань планування режимів електричних мереж відносяться:
- обробка й вірогідність контрольних вимірів;
- визначення статичних характеристик навантажень;
- прогноз навантажень у вузлах електричних мереж на характерні періоди;
- розрахунок і аналіз нормальних, післяаварійних і типових ремонтних режимів розімкнутих електричних мереж напругою 6-20 кВ, 35-110 кВ;
- розрахунок і аналіз режимів розподільних електричних мереж 0,38 кВ;
- розрахунок струмів КЗ в електричних мережах 110 кВ і вище;
- розрахунок струмів КЗ і ємнісних струмів замикання на землю в мережі 6-35 кВ;
- розрахунок струмів КЗ, вибір плавких вставок у мережі 0,38 кВ;
- розрахунок плавких вставок запобіжників, установлюваних на трансформаторах;
- розрахунок установок релейного захисту й автоматики в розподільних мережах 6-35 кВ;
- визначення еквіструмових зон при коротких замиканнях в електричних мережах з метою відшукування і локалізації ушкоджених ділянок;
- вибір оптимальної стратегії пошуку ушкоджень в електричних мережах 6-35 кВ;
- оцінка режимних наслідків введення в роботу нових об'єктів і підключення їх до електричних мереж;
- розробка і коректування нормальної і ремонтної схем мереж;
- розробка типових ремонтних схем;
- розрахунок, аналіз і прогноз надійності схем електропостачання; розрахунок, аналіз і прогноз якості електроенергії в електричних мережах;
- розрахунок, аналіз, нормування й прогноз втрат електроенергії в електричних мережах 35 кВ і вище; 6-20 кВ; 0,38 кВ;
- розробка організаційних і технічних заходів щодо підвищення надійності електропостачання споживачів, підвищенні якості і зниженню втрат електроенергії, підвищенню пропускної здатності електричних мереж, у тому числі:
- оптимізація режимів електричних мереж по рівнях напруги й реактивної потужності (оптимізація законів регулювання напруги в центрах харчування, вибір відгалужень трансформаторів розподільних мереж, оптимізація режимів роботи конденсаторних батарей в електричних мережах і споживачів);
- розрахунок оптимальних крапок розмикання електричних мереж за критерієм мінімуму втрат електроенергії (потужності);
- прогнозування і аналіз завантаження трансформаторів розподільних мереж і вибір економічного режиму їхньої роботи;
- розрахунок економічної ефективності заходів.

Завданнями керування виробничо-технічною діяльністю є:

- паспортизація встаткування електричних мереж, у тому числі ВЛ і підстанцій, силових трансформаторів і комутаційної апаратури, ТП 6-10/0,4 кв і встановлених на них запобіжників, технічних засобів обліку електроенергії; захисних засобів та ін.;

- розробка технічних умов на підключення споживачів.

До завдань діагностики обладнання електричного обладнання систем освітлення відноситься:

- облік і аналіз технічного стану ліній електропередачі, виявлення дефектів опор, ізоляції, проводів, кабелів, грозозахисних тросів, лінійних арматур;

- облік і аналіз технічного стану підстанцій, виявлення дефектів трансформаторів, комутаційної апаратури, засобів регулювання напруги, релейної захисної й автоматики, вимірювальної техніки, ізоляції, що компенсують пристроїв, установок власних потреб, компресорного господарства та ін.;

- облік і аналіз стану й роботи технічних засобів системи збору, передачі й обробки інформації;

- облік і аналіз аварійних відключенні, пошкоджуваності елементів ліній і підстанцій;

- складання планів-графіків профілактичних випробувань устаткування ліній і освітлювальних установок.

- Завданнями керування ремонтом і технічним обслуговуванням ліній електропередачі й підстанцій є:

- аналіз технічного стану електричних мереж для визначення обсягів їхнього ремонту й технічного обслуговування;

- складання багаторічного плану-графіка ремонту й технічного обслуговування електричних мереж;

- складання й корекція річного й місячного планів-графіків ремонтів і технічного обслуговування електричних мереж;

- розрахунок обсягів капітальних ремонтів електричних мереж;

- розрахунок трудозатрат, потреби в матеріалах, у тому числі пально-мастильних, запасних частинах, машинах і механізмах на ремонт і технічне обслуговування електричних мереж;

- розрахунок кошторисів на проведення ремонтних робіт в електричних мережах;

- контроль за виконанням капітальних ремонтів і планів-графіків ремонтів і технічного обслуговування електричних мереж,

- складання звітів про виконання капітальних ремонтів і планів-графіків ремонтів і технічного обслуговування електричних мереж;

- автоматизація диспетчерського керування ремонтом і технічним обслуговуванням електричних мереж.

До завдань керування матеріально-технічним постачанням відносяться:

- обробка форм інвентаризації обладнання;

- облік наявності й руху матеріалів на складах;

- розрахунок потреби в устаткуванні й матеріалах;

- облік і аналіз заявок на матеріали й ресурси.

До завдань охорони праці й техніки безпеки відносяться:

- планування і контроль проведення випробувань захисних засобів;
- облік і аналіз електротравматизма і нещасних випадків при обслуговуванні систем освітлення;
- облік проведення медоглядів;
- складання плану-графіка переатестації обслуговуючого персоналу по техніці безпеки, контроль за виконанням плану-графіка.

У завдання навчання, тренування і підвищення кваліфікації персоналу входять:

- контроль професійних знань персоналу за допомогою програм, що екзаменують;
- підвищення кваліфікація персоналу за допомогою навчальних програм;
- навчання і тренування режимного й оперативного персоналу на режимних тренажерах і тренажерах оперативних перемикачів;
- складання планів-графіків перевірки професійних знань, атестації й підвищення кваліфікації персоналу.

До завдань керування капітальним будівництвом відносять:

- складання планів капітального будівництва електричних мереж;
- контроль за виконанням планів капітального будівництва.

9.2. Технічне забезпечення контролю електротехнічного обладнання систем освітлення

Технічні засоби систем керування освітленням містять у собі:

- систему збору й передачі телемеханічної інформації;
- оперативно-інформаційний керуючий комплекс;
- систему передачі даних;
- автоматизовані робочі місця;
- систему контролю і керування електроспоживання;
- систему відображення інформації;
- автоматизовану систему зв'язку;
- систему гарантованого електроживлення.

З допомогою системи збору і передачі телемеханічної інформації здійснюється збір телемеханічної інформації на об'єкті, передача інформації засобами телемеханіки на диспетчерські пункти, часткова обробка інформації і її подання на диспетчерських пунктах, а також телекерування обладнанням контрольованих систем освітлення.

Склад і обсяги функцій, що підлягають реалізації при запровадженні в дію відповідних автоматизованих систем керування, визначається технічними завданнями.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Рыжкин А.А., Слюсарь Б.Н., Шучев К.Г. Основы теории надежности: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ. 2002. – 182 с.
2. Кутин В.М., Брейтбурд В.И. Диагностирование электрооборудования электрических систем. Учеб. пособие. – К.: УМК ВО, 1991.
3. Ланецкий В.Н. Основы теории надежности, эксплуатации и ремонта радио-электронной аппаратуры зенитных ракетных систем. – Х.: ХВУ, 1998. – 400 с.
4. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности. – М.: Высшая школа, 1985. – 168 с.
5. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 564 с.
6. Б.С. Гаспер, И.Н. Липатов. Решение задач по курсу прикладная теория надежности (Учебное пособие). – Пермь: ПГТУ, 1998.
7. Гнуденко В.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.А., Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965.
8. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
9. Колобов А. Б. Надежность технических систем.
<http://www.ispu.ru/library/lessons/Kolobov/index.htm>

Навчальне видання

ЧЕРНЕЦЬ Віра Сергіївна

Конспект лекцій

з дисципліни

**«Надійність і діагностика електрообладнання
освітлювальних систем»**

(для студентів 5 курсу денної і заочної форм навчання
освітньо-кваліфікаційних рівнів спеціаліст, магістр
спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»)

Відповідальний за випуск *Л. А. Назаренко*

Редактор *М. З. Аляб'єв*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2010, поз. 99 Л

Підп. до друку 07.04.2010 р.

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум.-друк. арк. 4,1

Зам. № _____

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.